



**Ana Margarida Matos Pereira**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores

# Sistema para etiqueta auto-alimentada para identificação e comunicação via NFC- RFID com transmissão de energia sem fios

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre/Doutor em  
Engenharia Eletrotécnica e Computadores

Orientador: João Pedro Abreu de Oliveira, Professor Doutor,  
FCT-NOVA

Júri:

Presidente: Doutor Mário Fernando da Silva Ventim Neves

Vogais: Doutor Luís Augusto Bica Gomes de Oliveira  
Doutor João Pedro Abreu de Oliveira



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



**Sistema para etiqueta auto-alimentada para identificação e comunicação via NFC-RFID com transmissão de energia sem fios**

Copyright © Ana Margarida Matos Pereira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*À minha avó.*

*À minha mãe e pai, que eu seja sempre  
um orgulho para vocês.*



## Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao meu orientador, Professor João Pedro Oliveira por toda a disponibilidade, ajuda e conhecimentos que me deu no desenvolvimento do protótipo e durante a escrita da dissertação.

Um agradecimento também a todos os professores com que tive a oportunidade de contactar durante todo o meu percurso académico especialmente aos do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Quero agradecer à minha família, especialmente aos meus pais, por todo o esforço que fizeram para isto ser possível e por todo o apoio incondicional que me deram. À minha avó, que acompanhou todo o meu percurso académico, um obrigado por aturares a minha rabugice para contigo mesmo quando não tinhas culpa nenhuma. Ao bebé da minha vida, obrigada por me distraíres para brincar contigo e desculpa as vezes que não pude ir. À minha irmã, obrigada por todas as traduções para inglês que corrigiste à pressa e aos desabafos que não percebias. Ao meu pai, obrigada por todo o teu apoio e ajuda que sempre me deste e a todos os valores que me transmitiste. À minha mãe, obrigada por teres sido a minha melhor amiga, por nunca me teres deixado desistir e por ouvires os meus desabafos independentemente de tudo.

Quero agradecer também a todos os meus amigos, que tiveram um impacto essencial em todo este percurso. Obrigada por todo o apoio dado a qualquer hora do dia inclusive as noitadas a trabalhar, pela amizade boa e sincera com que me mimaram, sem vocês não teria sido uma experiência tão incrível que vou levar para sempre. Obrigada por nunca me deixarem de parte por mais diferente que eu seja, por valorizarem sempre a minha opinião, por me deixarem o coração pequenino por já não estar presente, só assim se vê o quanto foi importante.

Por último, quero agradecer ao melhor namorado de sempre por ser o meu companheiro nos bons e maus momentos, por ter paciência ilimitada e por me fazer sentir que posso fazer tudo o que quiser na vida.





## Resumo

A tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID), embora mais comum em aplicações industriais e comerciais, está a ser cada vez mais utilizada em tarefas quotidianas do fórum pessoal. Esta expansão está ligada à disponibilização de interfaces para comunicação digital na zona do campo próximo (*Near Field Communications* – NFC), nas plataformas de *smartphone*. Esta tecnologia permite a identificação e rastreamento de um objeto, bastando tenha uma etiqueta RFID-NFC integrada, e onde um *smartphone* pode desempenhar a função de leitor. Esta etiqueta RFID-NFC pode ser utilizada em conjunto com qualquer tipo de sensor e consegue armazenar na sua memória os dados provenientes desses sensores e/ou qualquer outro tipo de informação relevante. Esta é a sua maior vantagem em comparação com tecnologia tradicional de códigos de barra.

O objetivo desta dissertação é demonstrar que uma etiqueta RFID-NFC pode ser alimentada através energia do campo eletromagnético emitido pelo emissor de NFC do *smartphone*. Pretende-se demonstrar igualmente que a energia captada e devidamente armazenada num super-condensador poderá alimentar outros componentes externos, nomeadamente, microcontrolador e sensor. Isto é, após o carregamento do super-condensador, ele próprio será capaz de alimentar o microcontrolador sem recorrer à alimentação vinda da etiqueta. Para além disto, é igualmente necessário desenvolver um sistema capaz de comunicar com o microcontrolador externo através de um protocolo apropriado para interligação entre circuitos integrados (I2C), permitindo assim o acesso aos dados do sensor.

**Palavras-chave:** RFID, NFC, Etiqueta, Microcontrolador, Super-condensador.



# Abstract

RFID technology, though more used in industrial areas, is being used more frequently by people on a daily basis. The main advantage of this technology is the possibility of identification and tracking of an object, only an in-corporate tag is necessary in the object in question and a fixed or mobile reader. This tag can be used in conjunction with any type of sensor and can store in memory the data from these sensors and/or any other type of information the customer wants. This is the biggest advantage compared to the bar code technology that is commonly used because is cheaper.

The purpose of this dissertation is to prove that a tag, powered by NFC from a smartphone, has the ability to power other components, such as a microcontroller connected to a sensor and a supercapacitor. To reach this objective, it is necessary to construct a simple circuit where the tag communicates with the microcontroller through I2C, thus allowing access to the sensor data, and where it carries the supercapacitor. When the supercapacitor is charged, it is expected that it will be able to power the microcontroller without using the power from the tag.

**Keywords:** RFID, NFC, Tag, Microcontroller, Supercapacitor.



# Índice Geral

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Apresentação do tema .....   | 1         |
| 1.2      | Objetivos .....  | 2         |
| 1.3      | Estrutura da dissertação.....  | 3         |
| <b>2</b> | <b>Tecnologia de Identificação por Rádio Frequência .....</b>                      | <b>5</b>  |
| 2.1      | Introdução à tecnologia .....  | 5         |
| 2.2      | Leitor de RFID .....   | 11        |
| 2.3      | Tipificação da Etiqueta de RFID.....   | 11        |
| 2.4      | Tecnologias e componentes da etiqueta RFID .....                                   | 12        |
| 2.4.1    | Antenas.....   | 13        |
| 2.4.2    | Comunicação NFC.....   | 16        |
| <b>3</b> | <b>Elementos da Arquitetura de uma Etiqueta RFID por Comunicação em Campo</b>      |           |
|          | <b>Próximo.....</b>  | <b>17</b> |
| 3.1      | Diagrama de blocos da etiqueta RFID por NFC .....                                  | 17        |
| 3.2      | Circuitos Integrados para etiquetas de NFC.....                                    | 18        |
| 3.2.1    | Circuito Integrado NT3H1201 da NXP Semiconductors .....                            | 18        |
| 3.2.2    | Circuito Integrado RF430CL330H da Texas Instruments .....                          | 20        |
| 3.3      | Microcontrolador externo.....  | 21        |
| 3.3.1    | Controlador LPC83x da NXP Semiconductors.....                                      | 21        |
| 3.3.2    | Controlador EFM8SB1 da Silicon Labs.....   | 23        |
| 3.4      | Comunicação digital entre microcontroladores.....                                  | 24        |
| 3.4.1    | I2C.....   | 24        |
| 3.4.2    | SPI.....   | 25        |
| 3.5      | Antenas para a interface RF na zona do campo próximo .....                         | 26        |
| <b>4</b> | <b>Implementação e Teste de Elementos de um Sistema com Etiqueta RFID-NFC.....</b> | <b>31</b> |
| 4.1      | Testes com Soluções Existentes .....   | 32        |
| 4.1.1    | Módulo de demonstração NTAG I2C .....  | 32        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1.2    | Kit Sleepy Bee .....  | 38        |
| 4.1.3    | LPCXpresso 845 MAX .....                                    | 40        |
| 4.2      | Arquitetura para Protótipo e Resultados experimentais ..... | 41        |
| 4.2.1    | Diagrama do Sistema.....                                    | 41        |
| 4.2.2    | Transmissão de energia sem fios .....                       | 42        |
| 4.2.3    | Teste do sistema com ligação à Cloud.....                   | 44        |
| 4.2.4    | Análise de Resultados.....                                  | 45        |
| <b>5</b> | <b>Conclusões e Trabalho Futuro .....</b>                   | <b>47</b> |
|          | <b>Referências .....</b>                                    | <b>49</b> |
|          | <b>Anexos .....</b>   | <b>51</b> |

## Índice de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1- Evolução das aplicações dos RFIDs, [2].....                      | 5  |
| Tabela 2.2 - Diferença entre Sistemas RFID e Código de barras [4], [5] ..... | 6  |
| Tabela 2.3-Diferenças entre etiquetas ativas e passivas [4], [5] .....       | 11 |





# Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1- Diagrama da comunicação entre uma etiqueta e um leitor.....                            | 3  |
| Figura 2.1- Comunicação leitor e etiqueta .....  | 7  |
| Figura 2.2- Constituição de um smart card. ....  | 9  |
| Figura 2.3-Exemplo do uso de RFIDs na saúde.....   | 10 |
| Figura 2.4-Diagrama de blocos simplificado de uma etiqueta RFID.....                               | 12 |
| Figura 2.5- Radiação isotrópica [14].      Figura 2.6- Radiação Omnidirecional [15].....           | 14 |
| Figura 2.7 - Polarização Direcional. ....  | 14 |
| Figura 2.8 - Exemplo de antena do tipo fio.....  | 14 |
| Figura 2.9 - Exemplo de antena do tipo <i>microstrip</i> . [15].....                               | 15 |
| Figura 2.10- Exemplo de comunicação NFC. ....  | 16 |
| Figura 3.1-Diagrama de blocos simplificado de etiqueta RFID NFC com MCU externo. ....              | 18 |
| Figura 3.2- Diagrama de blocos do NT3H1201.....  | 19 |
| Figura 3.3-Diagrama de blocos de RF430CL330H .....   | 20 |
| Figura 3.4-Diagrama de blocos LPC84x [18]. ....  | 22 |
| Figura 3.5- Diagrama de blocos da família EFM8SB1 [19]. ....                                       | 23 |
| Figura 3.6-Troca de pacotes entre master e slave .....   | 25 |
| Figura 3.7-Comportamento temporal das linhas SDA e SCL [20]. ....                                  | 25 |
| Figura 3.8- Arquitetura <i>multi-slave</i> .....   | 26 |
| Figura 3.9- Modelo elétrico da antena NFC e respetiva ligação ao circuito, [24]. ....              | 27 |
| Figura 3.10 - Modelo simplificado da etiqueta [24].....  | 28 |
| Figura 4.1-Diagrama de blocos da etiqueta RFID NFC com MCU externo e captação de energia.<br>..... | 31 |
| Figura 4.2 - NTAG I2C Explorer Kit.....  | 32 |
| Figura 4.3 - Imagem da componente da antena e chip da etiqueta NTAG I2C Explorer Kit. ....         | 33 |
| Figura 4.4 - Esquema das comunicações entre o <i>smartphone</i> e o kit.....                       | 34 |
| Figura 4.5 – Etiqueta demo da aplicação NTAG I2C Demo.....   | 34 |
| Figura 4.6 - Exemplo de ligação de LEDs. ....  | 35 |
| Figura 4.7 – Etiqueta NDEF da aplicação NTAG I2C Demo. ....  | 35 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.8 - Tab Config da aplicação NTAG I2C Demo .....                                     | 36 |
| Figura 4.9 – Opções: a. Reset Tag b. Ler a memória .....                                     | 37 |
| Figura 4.10 - Opções Config: a. Configurar registos de sessão b. Ler registos de sessão..... | 37 |
| Figura 4.11 - Board Sleepy Bee, [26].....  | 38 |
| Figura 4.12 - Diagrama de blocos da board Sleepy Bee, [26].....                              | 39 |
| Figura 4.13 - Alimentação da placa, [26].....  | 39 |
| Figura 4.14 - LCPXpresso 845 Max Board, [28]. ....   | 40 |
| Figura 4.15- Diagrama global do sistema.....   | 41 |
| Figura 4.16- Diagrama de blocos do protótipo.....  | 42 |
| Figura 4.17- Diagrama de blocos da medição .....   | 43 |
| Figura 4.18 - Carregamento do super-condensador .....  | 43 |
| Figura 4.19 - Descarregamento do super-condensador. ....                                     | 44 |

# Siglas

| <b>Sigla</b> | <b>Descrição</b>                |
|--------------|---------------------------------|
| RFID         | Radio Frequency Identification  |
| LF           | Low Frequency                   |
| HF           | High Frequency                  |
| UHF          | Ultra High Frequency            |
| NFC          | Near field Communication        |
| ISM          | Industrial, Scientific, Medical |
| IFF          | Identification Friend or Foe    |
| EAS          | Eletronic Article Surveillance  |
| IA           | Inteligência Artificial         |
| RO           | Read Only                       |
| RW           | Read and Write                  |
| I2C          | Inter-Integrated Circuit        |
| SDA          | Serial Data                     |
| SCL          | Serial Clock (I2C)              |
| SPI          | Serial Peripheral Interface     |
| SCLK         | Serial Clock (SPI)              |
| MOSI         | Master Output Slave Input       |
| MISO         | Master Input Slave Output       |
| SS           | Slave Select                    |

|      |   |
|------|---|
| PMU  | Power Management Unit                       |
| RF   | Rádio Frequências                           |
| CI   | Circuito Integrado                          |
| NDEF | NFC Data Exchange Format                    |
| UART | Universal Asynchronous Receiver-Transmitter |
| SMB  | System Management Bus                       |
| CS   | Capacitive Sense                            |
| ADC  | Analog-to-Digital Converter                 |
| FD   | Field Detector                              |
| URI  | Uniform Resource Identifier                 |
| MQTT | Message Queuing Telemetry Transport         |
| IoT  | Internet of Things                          |

# 1 Introdução

## 1.1 Apresentação do tema

A tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID), já utilizada em diversos domínios, tem suscitado grande interesse dada a recente introdução de um novo mecanismo de comunicação na zona de campo próximo (NFC), cujo o suporte tem sido introduzido em larga escala nos equipamentos “*smartphones*”. Num sistema de RFID é necessária a interação entre dois elementos, sendo estes constituídos por uma etiqueta e um leitor. A tipificação de cada standard de RFID é determinada pela frequência de operação, protocolo e fonte de energia utilizada pela etiqueta.

Na primeira opção, as etiquetas com RFID são divididas em três categorias: *Low Frequency* (Lf - 125kHz-134.2kHz); *High Frequency* (HF - 13MHz); *Ultra High Frequency* (UHF - 300MHz-3GHz). Seja qual for a frequência do RFID, a etiqueta pode ser embutida em qualquer tipo de material não metálico, permitindo identificar qualquer tipo de objeto. Nos RFIDs LF, as antenas têm de possuir maiores dimensões dada a utilização de comprimentos de onda maiores com potencial aumento de custo de produção. Estas etiquetas podem ser afetadas por ruído eléctrico sendo por isso descartadas para o uso em ambientes industriais. As frequências dos RFIDs UHF intersectam-se na banda do ISM (Industrial, Scientific, Medical), que são um conjunto de frequências livres utilizadas pela comunidade académica para investigação, sendo por isso frequências bastante utilizadas. Dos três tipos de etiquetas, estas têm o menor custo e podem ser detetadas a maior alcance, de até 10 metros, [1].

Nesta dissertação o tipo de etiqueta utilizada opera na banda de HF, e a comunicação entre etiqueta e o leitor é do tipo NFC, com alcance máximo na ordem dos poucos centímetros.

A utilização desta tecnologia permite a utilização de circuitos integrados com dimensões milimétricas, fazendo depender os custos da etiqueta do tamanho necessário da antena, [1].

Na segunda opção, podem ser divididos em dois tipos bastante distintos: etiquetas ativas ou passivas. Uma etiqueta ativa possui uma bateria integrada, e tem como desvantagem o aumento de custos de produção e o aumento do tamanho do dispositivo. As etiquetas passivas recebem energia durante a troca de dados com o leitor, ou seja, a etiqueta fica inativa até existir interação entre ela e um leitor.

Pretende-se nesta dissertação potenciar o projeto de um terceiro tipo, designada por etiqueta semi-passiva, a qual apresenta o mesmo comportamento de uma puramente passiva, mas dispõe de capacidade de armazenamento de uma quantidade limitada de energia. Desta forma a etiqueta poderá continuar a operar mesmo após ter saída da área de influência do leitor. Optou-se assim pela etiqueta semi-passiva e utilizando um super-condensador para o armazenamento de energia em vez de uma bateria convencional, [1].

O leitor não é um objeto em estudo nesta dissertação e por isso vai ser utilizado um *smartphone* com opção de NFC.

Os RFIDs têm várias aplicações, sendo a mais conhecida o uso de cartões “inteligentes”, tais como, passes de transportes, cartões de identificação e de multibanco.

## 1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é provar que uma etiqueta alimentada por NFC de um *smartphone* consegue alimentar outros dispositivos. Neste caso os dispositivos que se pretendem alimentar são um microcontrolador com um sensor, e um super-condensador de forma a poder carregá-lo. A etiqueta e o microcontrolador, incluídos em módulos implementados em circuito impresso (PCB), serão programados de modo a poderem comunicar entre si.

No final desta dissertação é expectável a constituição de um circuito semelhante ao da Figura 1.1, onde a etiqueta é capaz de carregar um super-condensador através de uma unidade de gestão de potência (PMU), trocar informação digital com microcontrolador. Depois da etiqueta deixar de ser alimentada, o super-condensador garante a alimentação do microcontrolador externo durante um intervalo de tempo que depende do valor da sua capacidade.

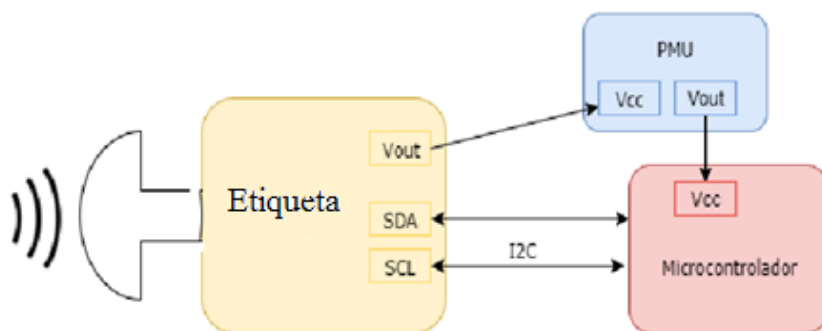


Figura 1.1- Diagrama da comunicação entre uma etiqueta e um leitor.

### 1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No capítulo inicial encontra-se a introdução ao tema da dissertação. Apresentam-se vários conceitos essenciais para uma melhor compreensão sobre os RFIDs, as tarefas que se pretendem cumprir ao longo da dissertação e o seu objetivo final.

No segundo capítulo apresenta-se a evolução histórica dos RFIDs, desde das razões da sua origem até à atualidade. São igualmente apresentadas as várias áreas de aplicação deste tipo de tecnologia. Neste capítulo encontra-se também uma secção referente aos tipos de antenas existentes e uma pequena introdução sobre os protocolos de comunicação que podem ser utilizados para troca de dados entre *chips*, nomeadamente a comunicação via NFC.

No terceiro capítulo descreve-se os vários componentes utilizados para a construção do dispositivo, sendo eles a etiqueta RFID e o microcontrolador.

No quarto capítulo são apresentados os vários módulos utilizados para o desenvolvimento da dissertação. E igualmente exposto o funcionamento da aplicação móvel e dos softwares utilizados para desenvolver a dissertação. Por último são apresentados os resultados experimentais obtidos.

No capítulo final, é feito um resumo do trabalho desenvolvido e são retiradas conclusões referentes ao objetivo final e a possíveis trabalhos futuros.





## 2 Tecnologia de Identificação por Rádio Frequência

### 2.1 Introdução à tecnologia

A conceptualização de uma técnica de identificação por rádio frequência (RFID) tem uma origem que se confunde com a própria evolução do conhecimento sobre a comunicação através dos mecanismos de transmissão eletromagnética sem fios. Exemplo disso foi o forte desenvolvimento da tecnologia de radar efetuado no auge da 2ª Guerra Mundial. A natureza de funcionamento do radar, para além da deteção de objetos por mecanismos de reflexão, pode ser utilizada para identificação codificada, [2]. De facto, algumas das primeiras aplicações associadas ao conceito de RFID, são os sistemas de identificação sem fios de longo alcance que eram colocados nos aviões de combate.

Na década seguinte, assiste-se ao desenvolvimento de aplicações na área da segurança e prevenção de roubos, através das primeiras aplicações comerciais, nomeadamente na área de anti-furto em lojas comerciais. As vantagens de utilização do sistema têm suportado o desenvolvimento desta tecnologia até aos dias de hoje, onde os RFIDs são utilizados em variadas aplicações no quotidiano. Na

Tabela 2.1 estão representadas algumas das aplicações e as suas evoluções ao longo do tempo, [2] e [3].

Tabela 2.1- Evolução das aplicações dos RFIDs, [2].

| Décadas          | Aplicações  |
|------------------|---|
| <b>1940-1950</b> | Desenvolvimento de radares na 2ª Guerra Mundial. Utilização de RFIDs em sistemas IFF. |
| <b>1950-1960</b> | Utilização de RFIDs em sistema EAS (anti-roubo).                                      |

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>1960-1990</b> | Começo da utilização em <i>tracking</i> de animais, predominantemente na Europa.                                  |
| <b>1990-2000</b> | Implementação de um sistema de pagamento eletrónico nas auto-estradas, onde não era necessário parar (Via verde). |
| <b>2000 -</b>    | Desenvolvimento contínuo e utilização de RFID para tarefas quotidianas.   |

Nos nossos dias, apesar das suas aplicações e do aumento do seu uso, a indústria dos RFIDs ainda está abaixo do seu potencial. Esta tecnologia tem como um dos objetivos suportar um processo mais autónomo na identificação de produtos e facilitar a gestão dos mesmos, que é um objetivo semelhante ao dos códigos de barra. Para além da identificação, o RFID tem outras funcionalidades vantajosas, pois consegue guardar informação e alterá-la ou adicionar mais informação consoante a necessidade e do desejo do cliente podendo assim fazer controlo de temperatura ou rastreamento de objetos. Na Tabela 2.2 encontram-se várias diferenças entre os dois métodos de identificação.

Tabela 2.2 - Diferença entre Sistemas RFID e Código de barras [4], [5]

|  | Sistemas RFID  | Código de barras  |
|--|--|---|
| <b>Preço</b>   | Alto   | Baixo   |
| <b>Alcance</b>   | Centímetros ou metros dependendo do tipo de etiqueta   | Alguns metros   |
| <b>Posição de leitura</b>                                      | Etiqueta no campo próximo sem necessidade de alinhamento                                       | Leitor e etiqueta alinhados   |
| <b>Tipo de informação na etiqueta</b>                          | Informação dinâmica que pode ser apagada e reescrita   | Informação estática que não pode ser alterada   |
| <b>Ambiente/material onde podem ser inseridas as etiquetas</b> | Podem ser inseridas em qualquer tipo de material exceto metal e em qualquer posição e/ou lugar | Podem ser inseridas em qualquer tipo de material mas não pode ter nenhum obstáculo à sua frente |

Apesar do seu uso e das suas vantagens, o uso do RFID levanta questões sobre os riscos da sua utilização. Alguns destes riscos são:

- Problemas técnicos – Colisões de sinais nas etiquetas e nos leitores;
- Problemas de interferência de sinal;

- Problemas de privacidade dos utilizadores- Qualquer leitor pode aceder à informação pessoal contida na etiqueta se esta não estiver devidamente protegida;
- Falta de padronização da indústria.

Existem vários artigos referenciados em [6] que mencionam possíveis soluções a todos estes problemas.

Os sistemas RFID, como dito no capítulo anterior, necessitam de dois elementos essenciais para o seu funcionamento. Esses elementos são uma etiqueta e um leitor que comunicam através de mecanismos de radiação e/ou indução eletromagnéticas como está representado na Figura 2.1.

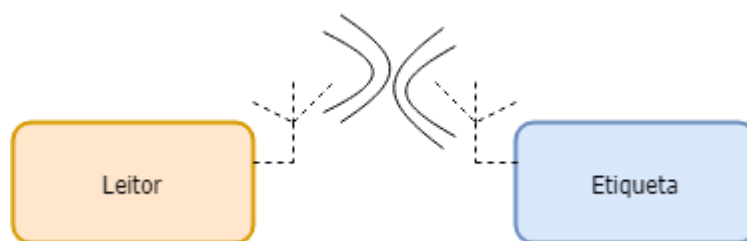


Figura 2.1- Comunicação leitor e etiqueta

Para além da identificação, os sistemas mais desenvolvidos permitem que a etiqueta contenha informação memorizada onde se pode aceder à informação sobre o produto, caso o utilizador final o pretenda. De facto, quando a etiqueta entra na zona de cobertura do leitor, a comunicação estabelecida entre os dispositivos permite a troca de dados e transferência de energia.

Se a leitura e tratamento de dados não for efetuada diretamente pelo leitor, é então adicionado um terceiro elemento para desempenhar essas funções. Normalmente este elemento é um terminal fixo, por exemplo um PC, ou um terminal móvel, por exemplo um telemóvel.

A utilização de tecnologias de identificação por rádio frequência abrange diversos domínios. Enumeram-se alguns deles ao longo dos próximos parágrafos.

### Área do Retalho

O uso do RFID nesta área é feito, tanto no armazém como em loja. Assim que o produto chega ao armazém é possível fazer o seu rastreamento facilitando a sua organização e gestão do espaço. O controlo de inventário também se torna mais eficiente, rápido e preciso.

Do ponto de vista da loja, podem ser implementados as chamadas prateleiras inteligentes, que possuem um leitor capaz de detetar e receber dados provenientes das etiquetas dos produtos. Isto permite ao cliente um fácil e rápido controlo sobre a *stock* na loja, no caso de ser necessário “encher” novamente a prateleira ou até fazer encomendas. Esta tecnologia permite a monitorização e a procura que um determinado produto tem, e cabe ao cliente analisar todos os dados que

lhes são disponibilizados para manter sempre os produtos mais procurados na loja, aumentando assim as vendas, [6].

### Área da Indústria

As aplicações nesta área são semelhantes as referidas na secção anterior para o armazém, mas com algumas diferenças. O rastreamento dos produtos pode ser feito, não só dentro do espaço físico, mas desde do seu ponto de recolha até ao seu destino final. Esta informação pode ser partilhada com os vários membros da cadeia de abastecimento permitindo uma ligação segura de partilha de dados, [6].

### Área do Processamento de comida

Para além das funcionalidades mencionadas anteriormente, a maior vantagem para esta área é a capacidade de adicionar informação à etiqueta. Esta funcionalidade permite ter um conhecimento constante da temperatura, onde o produto se encontra, de modo a garantir que o mesmo é seguro para o consumo. No caso de violação da temperatura permitida, é possível saber em que fase da cadeia de abastecimento/fornecimento ocorreu essa violação, [6],[7].

### Área de Viagens

Esta aplicação é possivelmente a mais comum e a mais utilizada por um número maior de pessoas. Os cartões inteligentes, Figura 2.2, são utilizados em cartões de identificação, mas também em passes para vários transportes públicos e até em passaportes. Nesta aplicação, o risco de comprometer a privacidade dos utilizadores é mais visível devido à sua grande utilização, [6].

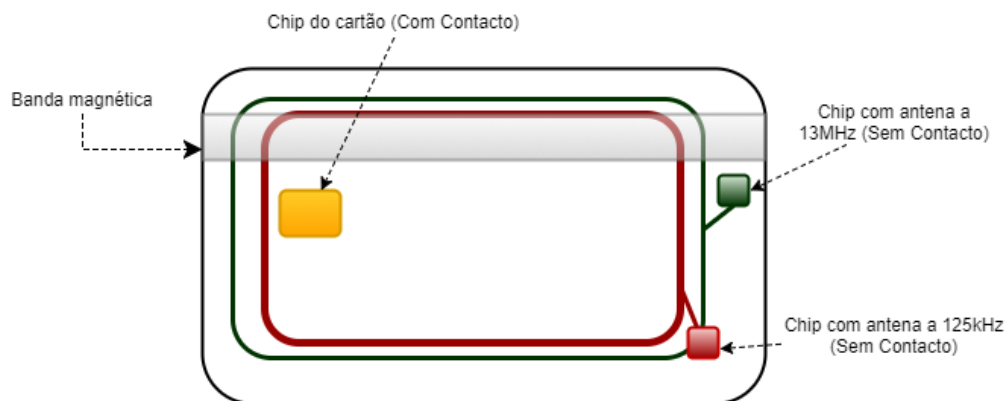


Figura 2.2- Constituição de um smart card.

### Área da Saúde

No ambiente hospitalar é importante encontrar formas rápidas e eficientes e fazer todas as tarefas necessárias. Os RFIDs podem ser uma ajuda em algumas dessas tarefas, tais como, rastreamento de equipamentos e identificação de pacientes como se pode observar na Figura 2.3. Ao colocar etiquetas em equipamentos e utensílios hospitalares é possível reduzir os furtos a estes associados.

Se colocarmos pulseiras com etiquetas integradas em pacientes quando estes chegam ao hospital, é possível colocar os seus dados mais importantes (tipo de sangue, alergias, medicação permanente), mas também ter fácil acesso ao seu histórico de saúde. Ao poder adicionar dados facilmente no histórico do paciente, este histórico estará sempre atualizado.

Outra vantagem é nos cuidados ao paciente, mais especificamente na medicação. Ao usar leitores RFID para saber a medicação e a dose certa, retira possibilidades de erro vindo do aspeto humano, [8].



Figura 2.3-Exemplo do uso de RFIDs na saúde.

### Área da Domótica

Com o aumento da esperança média de vida e do recorrente uso de tecnologia para tarefas diárias, os investigadores viram uma oportunidade para a necessidade de colocar IA (Inteligência Artificial) dentro de casa. A maior dificuldade a ser ultrapassada é o reconhecimento de espaços e objetos, ou seja, como filtrar e transformar dados obtidos por tecnologia, em informação que possa ser associada às tarefas básicas feitas pelos residentes. Os RFIDs vêm substituir os sensores e câmaras no processo de reconhecimento pois, tanto etiquetas como leitores, têm um tamanho e espessura menor o que permite que sejam colocados em qualquer objeto sem existir uma alteração drástica no ambiente onde vão ser inseridos, [9].

### Bibliotecas

Os RFIDS são atualmente utilizados em bibliotecas para tornar mais eficiente e rápido o inventário, que com o atual tamanho das coleções, é uma grande vantagem. Esta funcionalidade reduz o tempo do inventário e diminui os erros humanos. Ao conjugar esta tecnologia com prateleiras inteligentes, é possível saber a localização exata de qualquer livro, [6].

## 2.2 Leitor de RFID

O leitor RFID é um dos elementos principais para os sistemas RFID e tem vários tipos de funções desde mais básicas até a níveis mais complexos.

As mais básicas e necessárias à utilização da tecnologia RFID são a leitura e/ou escrita nas etiquetas, dependendo do tipo das mesmas. No caso de etiquetas passivas, ou seja, etiquetas que necessitam de alimentação externa, é o leitor que desempenha essa função essencial para a troca de dados. Existe também o caso de não ser o leitor a fazer a leitura final e o tratamento dos dados sendo por isso necessário este conectar-se com o terminal de forma a transferir as informações recolhidas.

Para além destas funções base, o leitor pode também desempenhar funções de encriptação de dados e autenticação de etiquetas para assegurar a segurança da informação e dos seus utilizadores. Uma outra função importante é a implementação de mecanismos anti colisão por parte das etiquetas. Existe necessidade deste tipo de mecanismos porque é possível ter várias etiquetas a transmitir informação simultaneamente e cabe ao leitor impedir que a informação se misture (dados corrompidos) ou que a transmissão não seja completada (perda de dados), [5].

## 2.3 Tipificação da Etiqueta de RFID

Conforme já referido no capítulo introdutório, tipificam-se dois tipos de etiquetas de RFID, designadamente, etiquetas passivas e etiquetas ativas. A principal diferença entre elas resume-se à forma como a alimentação é realizada. No caso das etiquetas passivas, a energia necessária para o seu funcionamento é transmitida pelo leitor de modo sem fios. A Tabela 2.3 resume as principais diferenças entre estes dois tipos de dispositivos.

Tabela 2.3-Diferenças entre etiquetas ativas e passivas [4], [5]

|                    | Ativas                | Passivas              |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Bateria</b>     | Com bateria integrada | Sem bateria integrada |
| <b>Alcance</b>     | Maior alcance         | Menor alcance         |
| <b>Custo</b>       | Mais alto             | Mais baixo            |
| <b>Frequências</b> | UHF e HF              | HF e LF               |

As etiquetas podem também ser diferenciadas dependendo do tipo de memória que integram. Estas podem ser apenas de leitura (RO) ou de leitura e escrita (RW). Já foi anteriormente referido que a diferença entre etiquetas RFID e etiquetas com código de barras é as primeiras poderem escrever e guardar informação consoante necessidade e/ou desejo por parte do utilizador final. Porém as etiquetas RFID também podem usadas para guardar informação estática, ou seja, informação que não pode ser alterada. Estas etiquetas têm uma memória RO e a informação retida é normalmente números de série. As etiquetas com memória RW servem para guardar informação temporária, pois esta pode ser apagada e reescrita inúmeras vezes.

Por último, existe um outro tipo de etiqueta que é um híbrido entre memória RW e RO. Nesta etiqueta a informação estática é guardada secção RO da memória enquanto toda a restante informação suscetível a mudanças é guardada na secção RW, [5].

## 2.4 Tecnologias e componentes da etiqueta RFID

A Figura 2.4 mostra o diagrama de blocos de uma etiqueta RFID com um nível de funcionalidades já significativa. Para além da antena, a etiqueta dispõe de uma interface rádio que, para além da transferência digital de dados, é muitas vezes utilizado para que o leitor forneça energia para que essa possa funcionar. Tal configuração, permite dispensar a existência de baterias nas etiquetas. A inclusão de um microcontrolador e memória dependendo do tipo de funcionalidade pretendida.

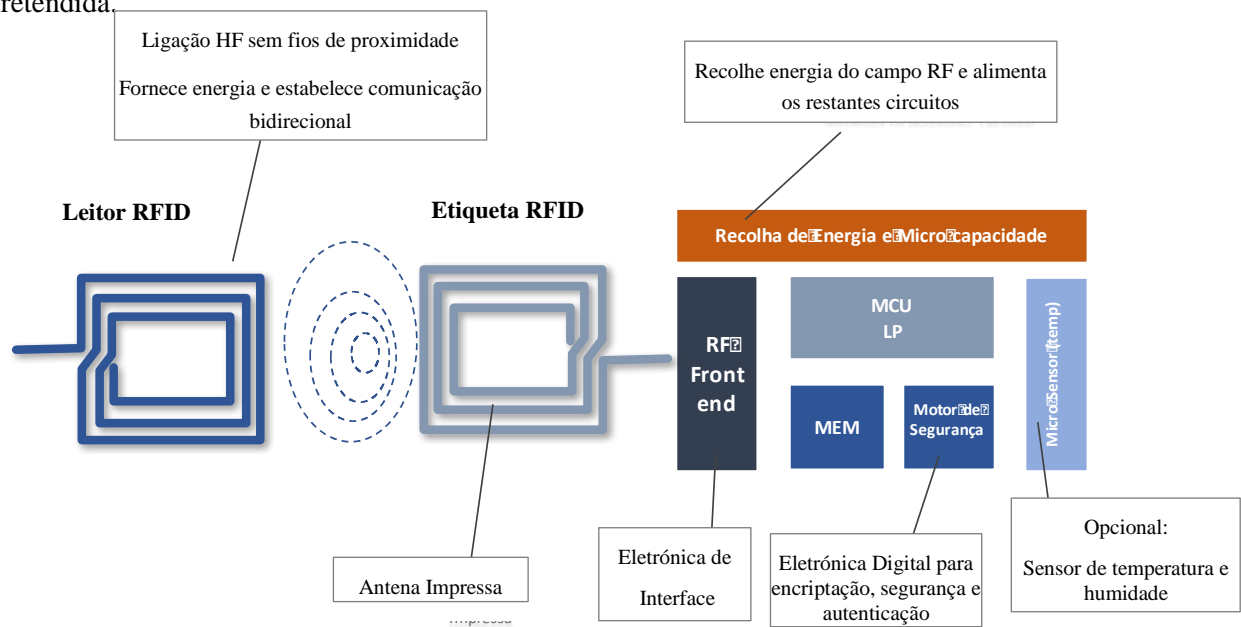


Figura 2.4-Diagrama de blocos simplificado de uma etiqueta RFID.



### 2.4.1 Antenas

As antenas são componentes essenciais para a comunicação rádio fazendo a conversão de ondas guiadas, provenientes de linhas de transmissão, em ondas que usam o espaço livre para a sua propagação, e vice-versa. As primeiras antenas foram construídas de forma a provar existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Para este feito, Heinrich Hertz utilizou uma antena dipolar como antena de emissão e uma antena de espira como antena de recepção, [10],[11].

Existem várias características que podem ser utilizadas para classificar antenas, tais como, dimensão, frequência, polarização, radiação e formato. Estas características influenciam o comportamento das ondas eletromagnéticas recebidas e/ou transmitidas. As duas primeiras características relacionam-se, pois quanto mais alta for a gama de frequências menor é a dimensão da antena. A polarização de uma antena depende da polarização das ondas eletromagnéticas, que podem ser afetadas pelo efeito de reflexão e/ou refração. As ondas podem ter diferentes tipos de polarização, dependendo da posição (perpendicular ou não) do seu vetor campo em relação à terra, [12].

Em relação à radiação existem vários tipos de antenas, [13]:

- Isotrópicas – Este tipo de antena é teórico, servindo de referência para outras antenas. A sua radiação tem um comportamento uniforme em todas as direções num padrão esférico como na Figura 2.5;
- Omnidirecional – Estas antenas concentram a sua radiação no plano horizontal e possuem pouca radiação vertical, tendo assim um padrão de radiação com um formato de donut, como aparece na Figura 2.6;
- Direcional – Na Figura 2.7 é possível observar antenas direcionais que tal como o nome indica, focam apenas uma direção, esta que pode ser vertical ou horizontal;

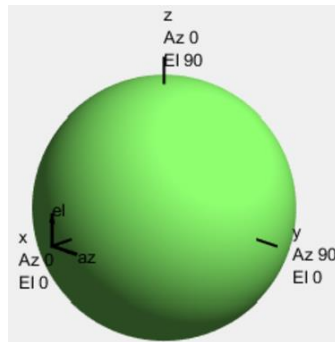


Figura 2.5- Radiação isotrópica [14].

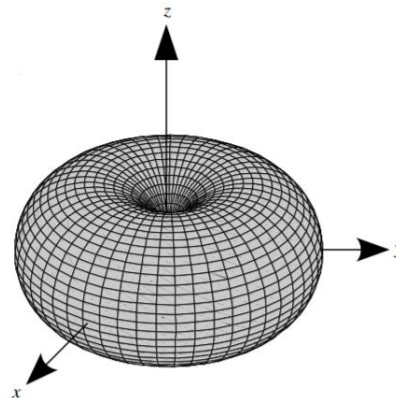


Figura 2.6- Radiação Omnidirecional [15].

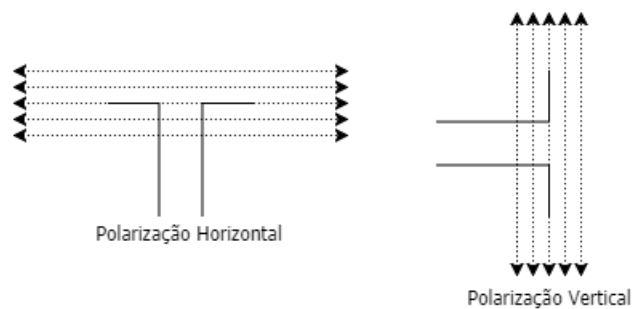


Figura 2.7 - Polarização Direcional.

A última característica é o formato das antenas que podem ser em fio, *microstrip*, corneta ou refletor. No formato fio encontram-se os dipolos (fios em linha reta), *loops* (fios circulares, elípticos, retangulares, ente outros) e hélices. Este tipo de formato de antena têm uma característica comum pois, independentemente da forma do fio, este possui uma abertura no centro para alimentação como é observável na Figura 2.8.

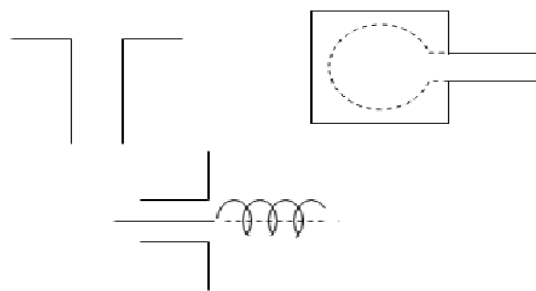


Figura 2.8 - Exemplo de antena do tipo fio.

As antenas *microstrip* têm várias vantagens porque podem ser inseridos em qualquer tipo de superfície, pois consiste num circuito impresso como está na Figura 2.9. Esta característica

permite as antenas *microstrip* terem uma pequena dimensão e peso e, por consequente um baixo custo dependendo do material da superfície, [12].

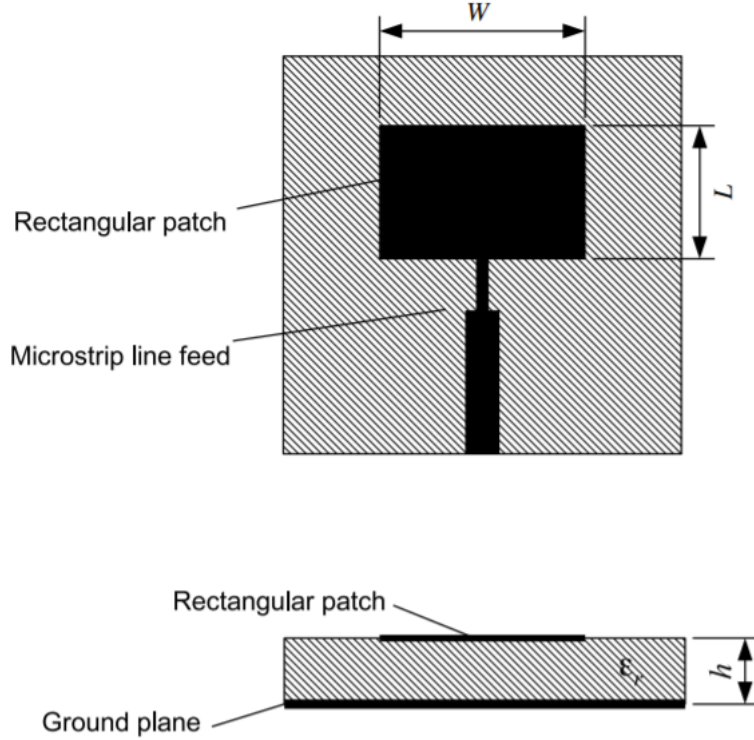


Figura 2.9 - Exemplo de antena do tipo *microstrip*. [15].

Para além das características referidas acima que classificam os vários tipos de antenas, existem outros parâmetros importantes para o estudo de antenas como a diretividade e o ganho que podem ser expressos com o auxílio da equação 1, [11].

$$U_{med} = \frac{P_r}{4\pi} \quad (1)$$

Onde  $U_{med}$  é a intensidade média de radiação.

- Diretividade – Relação entre a intensidade de radiação máxima e a intensidade de radiação média no espaço. A diretividade pode ser expressa através da equação 2.

$$D = \frac{U_{max}}{U_{med}} = 4\pi \frac{U_{max}}{P} \quad (2)$$

- Ganho – Relação entre a intensidade de potencia de alimentação máxima e a intensidade de potência de alimentação média, ou seja, capacidade da antena de concentrar potência numa direção. Este parâmetro pode ser mesurável com a equação 3.

$$G = \frac{U_{max}}{U_{me}} = 4\pi \frac{U_{max}}{P_{alimentação}} \quad (3)$$

## 2.4.2 Comunicação NFC

Existem diferentes tipos de região em volta de uma antena onde o tipo de comunicação muda consoante essa região. Nesta dissertação a comunicação vai ocorrer na região mais próxima da antena, usando a tecnologia NFC. Nesta região a comunicação ou a alimentação de algum dispositivo é feito através de indução magnética. Os dispositivos produzem um campo magnético que os interliga e permite a passagem de energia, criando um acoplamento indutivo e através disso é então possível existir comunicação ou alimentação de dispositivos sem ser necessário um fio. Na Figura 2.10, encontra-se um exemplo entre dois dispositivos que devem possuir qualquer tipo de componente indutivo, de forma a conseguirem comunicar usando esta tecnologia.

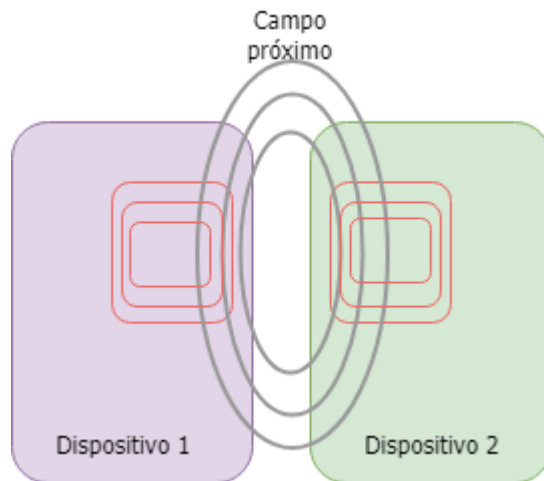


Figura 2.10- Exemplo de comunicação NFC.

### **3 Elementos da Arquitetura de uma Etiqueta RFID por Comunicação em Campo Próximo**

Após a caracterização global dos sistemas RFID efetuada no capítulo anterior, segue-se a apresentação e análise de uma versão desta família que recentemente foi introduzida, designada por *Near Field Communications* – NFC. Passaremos a designá-la por RFID-NFC. O crescente grau de interesse da tecnologia está intimamente ligado à integração desta funcionalidade nas principais plataformas *smartphone* existentes no mercado.

#### **3.1 Diagrama de blocos da etiqueta RFID por NFC**

Partilhando semelhanças evidentes com outras versões de etiquetas RFID, o diagrama de blocos apresentado na Figura 3.1 acrescenta a possibilidade de ligação da etiqueta a um micro-controlador externo para além de permitir o fornecimento de energia. Tais características foram exploradas ao longo do trabalho desenvolvido durante a dissertação. De facto, para esta dissertação vai ser utilizada uma etiqueta disponível no mercado, tendo sido analisadas duas etiquetas de dois fabricantes distintos, sendo estes a NXP e a TEXAS INSTRUMENTS.

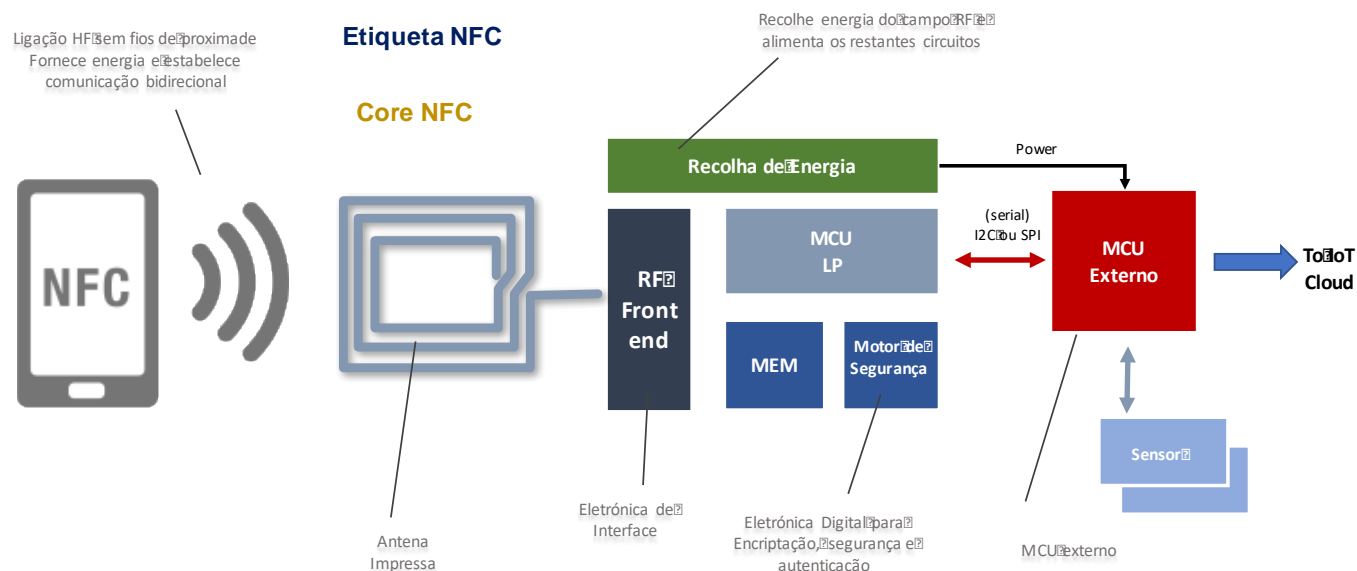


Figura 3.1-Diagrama de blocos simplificado de etiqueta RFID NFC com MCU externo.

## 3.2 Circuitos Integrados para etiquetas de NFC

Realizada uma pesquisa aos portfólios disponibilizados pelos principais fabricantes na indústria dos semicondutores, selecionaram-se circuitos integrados que se apresentam de seguida.

### 3.2.1 Circuito Integrado NT3H1201 da NXP Semiconductors

O circuito integrado da NXP, NT3H1201, é composto por cinco blocos principais conforme é ilustrado no diagrama representado na Figura 3.2.

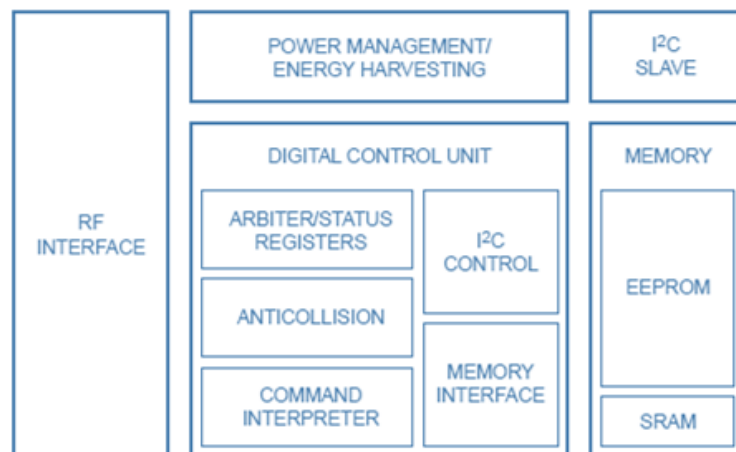


Figura 3.2- Diagrama de blocos do NT3H1201.

Esta é uma etiqueta com comportamento passivo, sendo por isso alimentada obrigatoriamente através do acoplamento de campo próximo, NFC. Como existe mecanismo de anticolisão é possível existir comunicação entre vários dispositivos em simultâneo. É também possível dois tipos de comunicação, uma à distância através da interface RF, mas também uma comunicação utilizando fios, através da interface I2C.

Dispõe de um mecanismo de deteção de campo NFC, disponibilizado através de pino dedicado, que permite ativar o *trigger* de um dispositivo externo ou um PMU externo, dependendo da configuração da interface RF. Este mecanismo também pode ser utilizado para alertar um microcontrolador externo que existe nova informação a ser escrita através da interface RF ou que, a informação escrita pelo microcontrolador, está a ser lido pela interface RF.

Este integrado possui dois tipos de memória, a EEPROM que é uma memória não volátil e a SRAM que é uma memória volátil. Na EEPROM são guardadas, por exemplo, as configurações e parametrizações do circuito integrado e dados dos utilizadores, enquanto na SRAM serve para guardar dados temporários em tempo real. A memória SRAM funciona apenas se o circuito integrado estiver ligado a fonte externa de energia (correspondente a pino dedicado designado por VCC) e pode ser acedida diretamente pela interface de comunicação série I2C, mas não pela interface RF, exceto se esta estiver no modo *pass-through*. Este modo permite uma ligação direta entre o microcontrolador externo e o dispositivo NFC que ativou a etiqueta.

Em relação à alimentação proveniente da interação entre o leitor e a etiqueta, é possível alimentar dispositivos externos de baixa potência. A tensão e corrente dada depende de vários

fatores, tais como, intensidade do campo NFC, tamanho da antena da etiqueta e a distância entre o dispositivo NFC e a própria etiqueta, [16].

### 3.2.2 Circuito Integrado RF430CL330H da Texas Instruments

O circuito integrado para etiqueta NFC selecionado é o RF430CL330H. Neste integrado, é possível escolher entre dois modos de comunicação local série, o I2C ou SPI. A escolha entre eles é feita no início de utilização do equipamento tendo como *default* o protocolo SPI.

Este integrado possui quatro blocos principais conforme está no digrama representado na Figura 3.3.

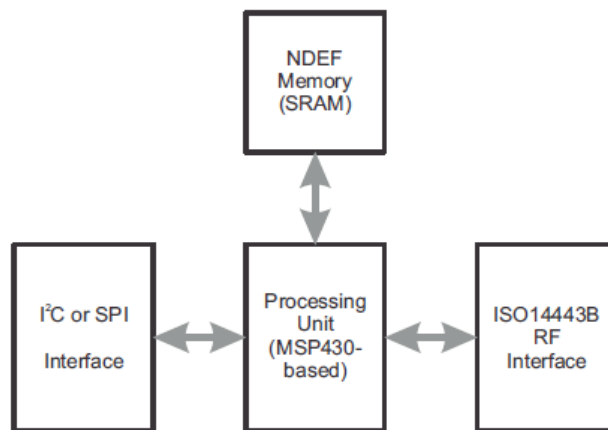


Figura 3.3-Diagrama de blocos de RF430CL330H

A troca de informação é feita através da interface RF, onde o utilizador pode ler e fazer *update* à informação contida na memória interna do circuito integrado. Todavia, não possui mecanismos anticolisão e por isso não é possível existir mais que uma interação em simultâneo. A memória suporta o formato de mensagem NFC standardizada, NDEF (NFC Data Exchange Format), que permite uma troca e armazenamento de dados num formato conhecido por todos os dispositivos e etiquetas NFC. A informação contida na memória é eliminada com a remoção de energia no dispositivo, pois é uma memória volátil.

Esta etiqueta apenas tem comportamento passivo, ou seja, é necessário um dispositivo com NFC como fonte primária de troca de informação. São suportadas múltiplas taxas de transmissão desde do *default* de 106 kbps até ao máximo de 848 kbps, [17].



### 3.3 Microcontrolador externo

Apresentam-se de seguida alguns dos microcontroladores estudados e testados.

#### 3.3.1 Controlador LPC83x da NXP Semiconductors

O microcontrolador escolhido da NXP foi da família LPC84x, que é utilizado no NTAG I2C demo kit em conjunto com a etiqueta NXP mencionada anteriormente. Os dispositivos desta família possuem três tipos de memória, uma memória flash com capacidade até aos 64 kb, uma memória até aos 16 kb e uma memória FAIM de 128/256 bits que contém a configuração inicial do microcontrolador. Como dito anteriormente, a característica mais relevante na escolha deste dispositivo é a sua tensão de *input* que se encontra entre os 1.8 V e os 3.6 V e têm o diagrama de blocos da Figura 3.4.

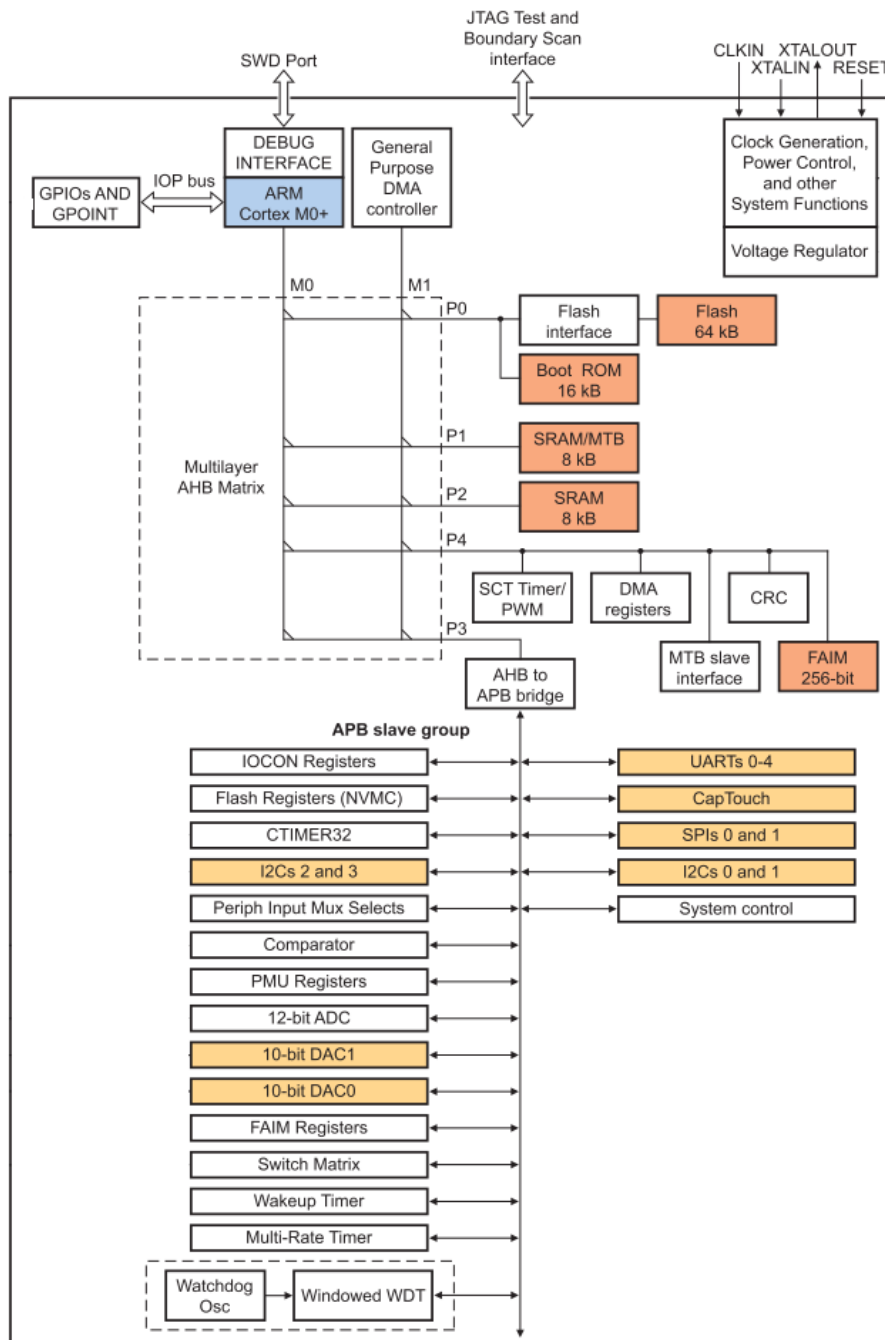


Figura 3.4-Diagrama de blocos LPC84x [18].

O LPC84x possui até 54 portas I/O e permite três tipos de protocolos de comunicação, I2C, SPI e UART. Existem várias características que permitem uma melhor utilização, tais como, modos *low power*, níveis de segurança para a memória e emulação e *debugging*. Este dispositivo permite quatro modos de *low power*, *sleep*, *deep-sleep*, *power-down* e *deep power-down*. No modo *sleep* todas as execuções são suspensas até um *interrupt* acontecer ou um *reset*, no modo *deep-sleep* e *power-down* todos os *clocks*, tanto dos periféricos como do núcleo estão desligados

exceto o de alguns osciladores internos, caso selecionados para isso. Finalmente no modo *deep power-down* todo o chip está desligado exceto as funcionalidades próprias para o *chip* voltar a ser ligado como o porto *wakeup* e um timer, [18].

### 3.3.2 Controlador EFM8SB1 da Silicon Labs

A Silicon Labs possui uma linha de microcontroladores, designada por EFM8, otimizada para aplicações de baixo consumo com especial foco em tensões de alimentação reduzidas. Dessa linha de produtos foi selecionada a família Sleepy Bee 1, EFM8SB1 que contém microcontroladores que possuem várias características comuns, em que a mais relevante é a sua tensão de alimentação que poderá variar entre os 1.8 V e os 3.6 V. O diagrama de blocos interno deste tipo de processador encontra-se representado na Figura 3.5. As suas diferenças são relativas ao tamanho da RAM (512 bytes ou 216 bytes), tamanho da memória Flash Memory (2 kB, 4 kB ou 8 kB) e o número de portos disponíveis (entre os 13 e os 17).

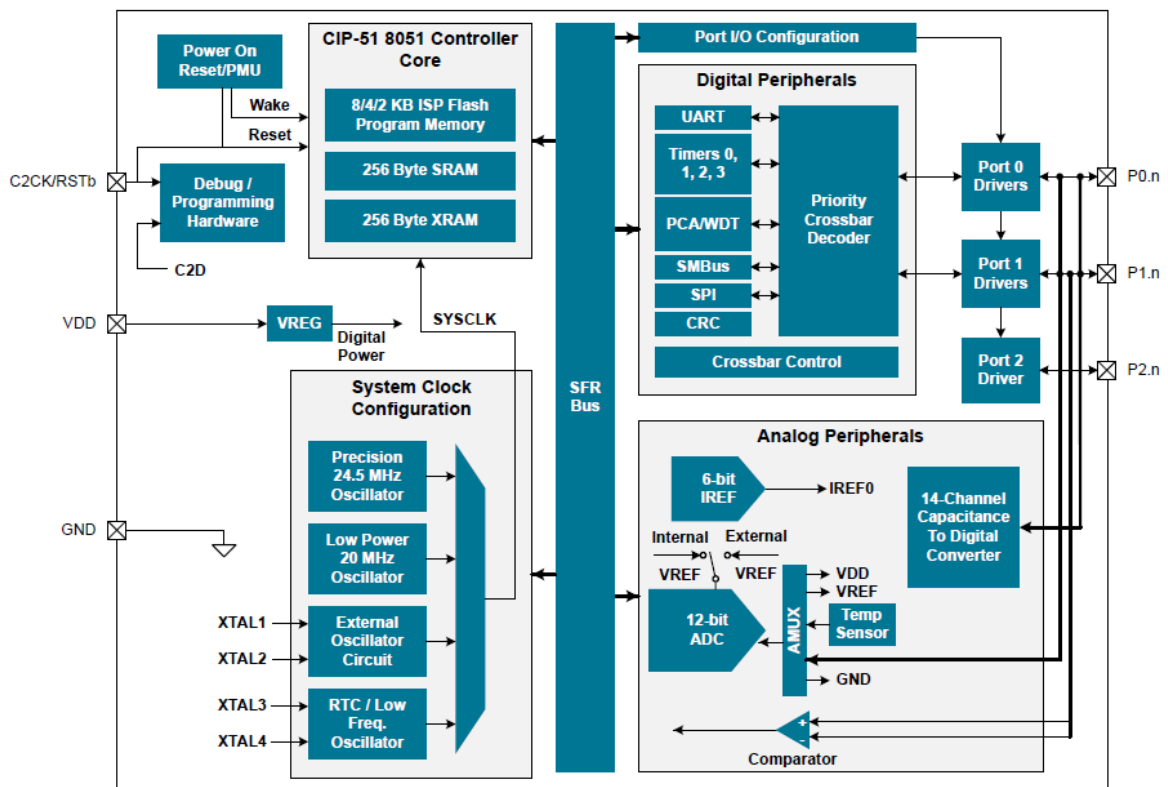


Figura 3.5- Diagrama de blocos da família EFM8SB1 [19].

Os portos bidirecionais podem ser configurados para interface com sinais puramente analógicos ou puramente digitais e estão programados para, quando não estão em funcionamento,

consumirem o mínimo de energia possível. Existem cinco modos de energia: *Normal*, *Idle*, *Suspend*, *Stop* e *Sleep*. Atendendo ao que a própria designação indica, no modo normal todos os terminais (*pins*) e o núcleo estão totalmente operacionais. Por sua vez, durante o modo *idle* os periféricos conectados estão operacionais, mas o núcleo encontra-se parado. No modo *suspend*, tal como o núcleo, os periféricos também se encontram parados até ocorrer um evento pré-definido que os acorde. Este comportamento também ocorre no modo *sleep*, mas neste modo, todos os circuitos internos estão desligados. Por último, em modo *stop*, todos os circuitos internos estão desligados e voltam a ser ligados através de um *reset* forçado externamente.

Este microcontrolador possui várias características que visam facilitar a sua utilização e *debug*. As características são múltiplos *timers* e contadores programáveis que podem fazer a sincronização interna entre componentes ou alarmística. Existem outras características, na área digital, que são referentes ao tipo de comunicação, como por exemplo o SPI e o SMB/I<sup>2</sup>C, e na área analógica, que vão desde CS que permite determinar a variação de capacidade de um terminal de entrada/saída. Dispõe igualmente de um conjunto de comparadores de tensão e conversores analógico-digitais (ADC). Por último, a existência de um *bootloader* (software primário que se é gravado em memória não volátil) permite controlar o dispositivo durante a fase de arranque após um *reset* ou *power-on*. [19]

## 3.4 Comunicação digital entre microcontroladores

A seleção dos circuitos integrados para implementação de uma etiqueta NFC teve em conta a sua capacidade de estabelecer, localmente, uma ligação série a um controlador externo. Neste âmbito, são apresentados dois protocolos.

### 3.4.1 I2C

O I2C foi desenvolvido pela Philips Semiconductors, (agora designada por NXP Semiconductors). A principal vantagem deste protocolo é possuir apenas duas linhas, SDA e SCL, que permitem ter múltiplos dispositivos ligados. A SDA tem os dados transmitidos enquanto a SCL mantém o recetor e o transmissor sincronizados durante a transmissão através de um relógio comum. Neste protocolo, os dispositivos são classificados como *masters* e/ou *slaves*, onde cada um tem o seu próprio endereço, e podem transmitir ou receber dados independentemente da sua classificação. A comunicação entre dispositivos é iniciada sempre pelo dispositivo *master* com uma mensagem que contém o endereço do dispositivo *slave*. Como o protocolo é *multi-slave*, esta

mensagem resolve qualquer conflito que possa existir, pois todos os dispositivos recebem a mensagem inicial, mas apenas o dispositivo com o endereço certo responde ao master. Depois de resolvido o problema de possíveis conflitos entre *slaves*, é necessário impedir conflitos entre masters, pois o protocolo também é *multi-master*. Para este cenário os dispositivos *master* têm uma característica que detecta quando outro *master* está a utilizar o *bus*, parando assim a sua comunicação para que a utilização feita pelo outro *master* continue e termine sem conflitos.

Um exemplo da troca de pacotes entre dispositivos *master* e *slave* através de I2C pode ser observada na Figura 3.6, onde o *master* está a escrever na memória do *slave*.

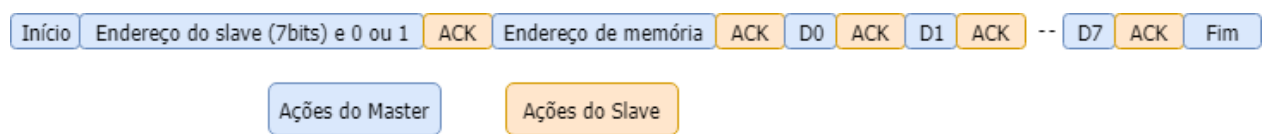


Figura 3.6-Troca de pacotes entre master e slave

Na Figura 3.7 encontra-se o comportamento temporal típico do I2C *bus*, ou seja, das linhas SDA e SCL. Estas linhas funcionam como *pull downs*, o que significa que estes dois *pins*, em qualquer circuito, não adquirem valores lógicos incorretos quando não existe comunicação.

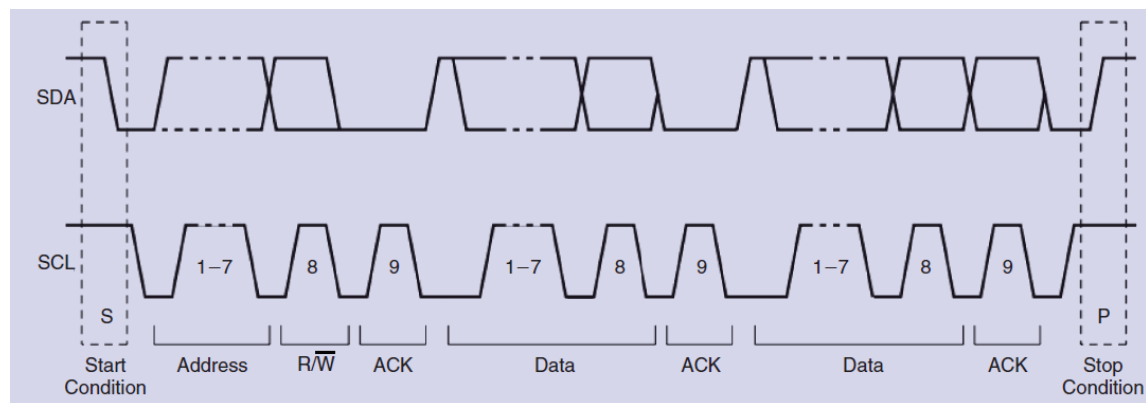


Figura 3.7-Comportamento temporal das linhas SDA e SCL [20].

Este protocolo vai ser integrado nesta dissertação como a escolha para a comunicação entre a etiqueta e o microcontrolador utilizados, [20], [21].

### 3.4.2 SPI

O SPI, tal como o I2C, é um protocolo criado para fazer a comunicação entre circuitos integrados, tendo sido inicialmente desenvolvido pela Motorola. Este protocolo funciona com

uma arquitetura semelhante à Figura 3.8, com um único *master*, mas com múltiplos *slaves* e necessita de quatro linhas sendo elas, SCLK, MOSI, MISO, SS. A linha SCLK é a linha de *clock* que mantém os dispositivos sincronizados, a MOSI e MISO são as linhas de output e input, respetivamente, e a SS serve para seleccionar o *slave* pretendido.

A comunicação entre os dispositivos é iniciada no *master* que utiliza a linha SS para seleccionar o *slave* correto e a linha SCLK para a sincronização entre dispositivos. Durante esta comunicação são feitas trocas de bits, utilizando as linhas MOSI e MISO, entre os *data register* do *slave* e do *master*. Quando a comunicação termina, o *master* desselecciona o *slave*, utilizando a linha SS, [22] e [23].

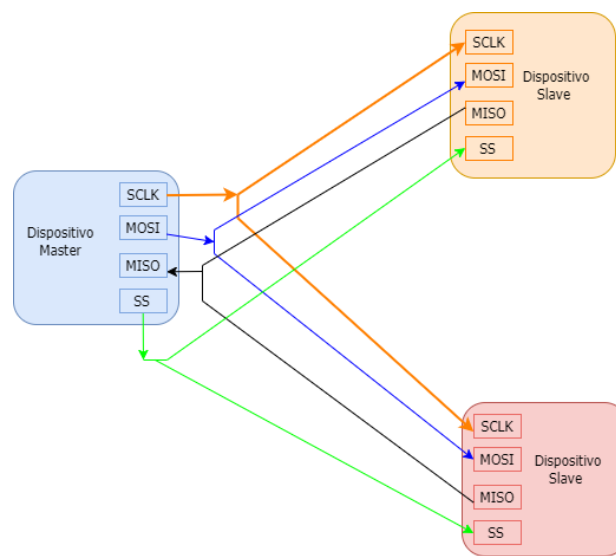


Figura 3.8- Arquitetura *multi-slave*.

### 3.5 Antenas para a interface RF na zona do campo próximo

No capítulo anterior foram mencionadas de várias características inerentes a todo o tipo de antenas em qualquer região das mesmas. Nesta secção o foco vão ser as antenas a operar no campo próximo, mais concretamente em conjunto com o circuito integrado falado na secção 3.2.1.

Os parâmetros da antena são afetados pelo valor de *input* do condensador proveniente do *chip* usado na etiqueta. Na Figura 3.9 está o esquema elétrico completo da etiqueta, que consiste no modelo simplificado do circuito integrado (Esquerda), da antena (Direita) e da conexão entre ambos (Centro). Como referido acima, os cálculos efetuados para a construção da antena dependem do valor do condensador  $C_{IC}$ , e este, por sua vez, depende da tensão aplicada à etiqueta. Estes valores são tabelados consoante o tipo de circuito integrado usado e podem ser vistos em [24].

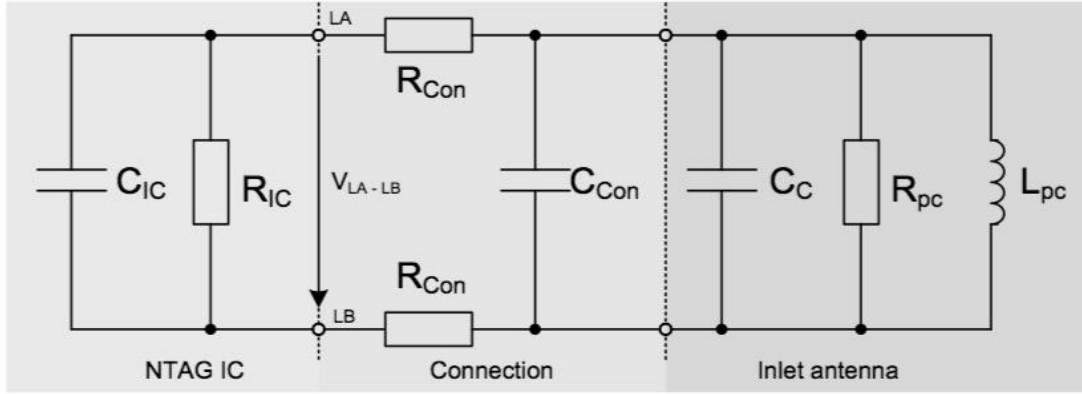


Figura 3.9- Modelo elétrico da antena NFC e respetiva ligação ao circuito, [24].

Neste exemplo simplificado, o modelo referente à antena consiste numa bobine ( $L_{pc}$ ) que faz o efeito de antena, e nas resistências e capacitâncias provenientes das espiras da bobine ( $R_{pc}$  e  $C_c$ ). No entanto é necessário que a antena funcione na frequência pretendida e por isso é normalmente adicionado um condensador para esse efeito, logo  $C_c$  não é apenas o valor das capacitâncias das espiras de  $L_{pc}$ .

O valor do  $C_c$  depende dos restantes circuitos que se encontram no modelo, nomeadamente o  $C_{IC}$  e  $R_{IC}$ , que como mencionado anteriormente são afetadas pela tensão de entrada. Também depende das capacitâncias e resistências da ligação entre a antena e o circuito integrado, mas como  $R_{com}$  têm valores tão baixos, este podem ser ignorados, ficando assim apenas o valor de  $C_{con}$ .

Depois de todas estas conclusões, o modelo da Figura 3.9 pode ser simplificado para o modelo da Figura 3.10, onde  $C_{pl}$  e  $R_{pl}$  são as equações 4 e 5, respetivamente.

$$C_{pl} = C_{IC} + C_{con} + C_c \quad (4)$$

$$R_{pl} = \frac{R_{IC} \times R_{pc}}{R_{IC} + R_{pc}} \quad (5)$$

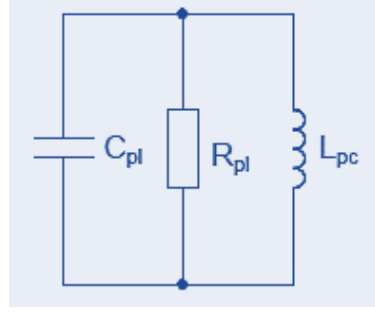


Figura 3.10 - Modelo simplificado da etiqueta [24].

Um dos fatores importantes, de referir em relação à antena, é o seu fator de qualidade que pode ser calculado utilizando a equação 6, onde  $f_{op} = 13.56 \text{ MHz}$  e  $\omega = 2\pi \times f_{op}$ . O fator de qualidade é importante para medir a largura de frequências que a antena consegue atingir, ou seja, quanto menor for o Q mais frequências abrange.

$$Q_{antena} = \frac{R_{pc}}{\omega \times L_{pc}} \quad (6)$$

Considerando a etiqueta como um todo, é importante também referir algumas características da mesma, tais como, o seu próprio fator de qualidade (Q) e a intensidade do campo magnético (H) que se encontram nas equações 7 e 8, respetivamente.

$$Q = \frac{R_{pl}}{\omega \times L_{pc}} \quad (7)$$

$$H = \frac{\left( \left( 1 - \left( \frac{f_{op}}{f_{RT}} \right)^2 \right)^2 + \left( \frac{\omega \times L_{pc}}{R_{plT}} \right)^2 \right)^{1/2}}{\omega \times \mu_0 \times N_c \times A_c} \times V_{input} \quad (8)$$

A intensidade do campo magnético é uma característica essencial para saber o alcance possível de transmissão neste circuito. Como é observável na equação 8, depende da área da antena ( $A_c$ ), do seu número de espiras ( $N_c$ ), da tensão de *input* do circuito, entre outras, [24].







## 4 Implementação e Teste de Elementos de um Sistema com Etiqueta RFID-NFC

Neste capítulo vão ser descritos os procedimentos realizados para o desenvolvimento e implementação do protótipo, ao nível de montagem de hardware, programação e utilização de software. Para além dos procedimentos vão ser apresentados os resultados obtidos através de testes feitos com alguns dos elementos do sistema protótipo desenvolvido.

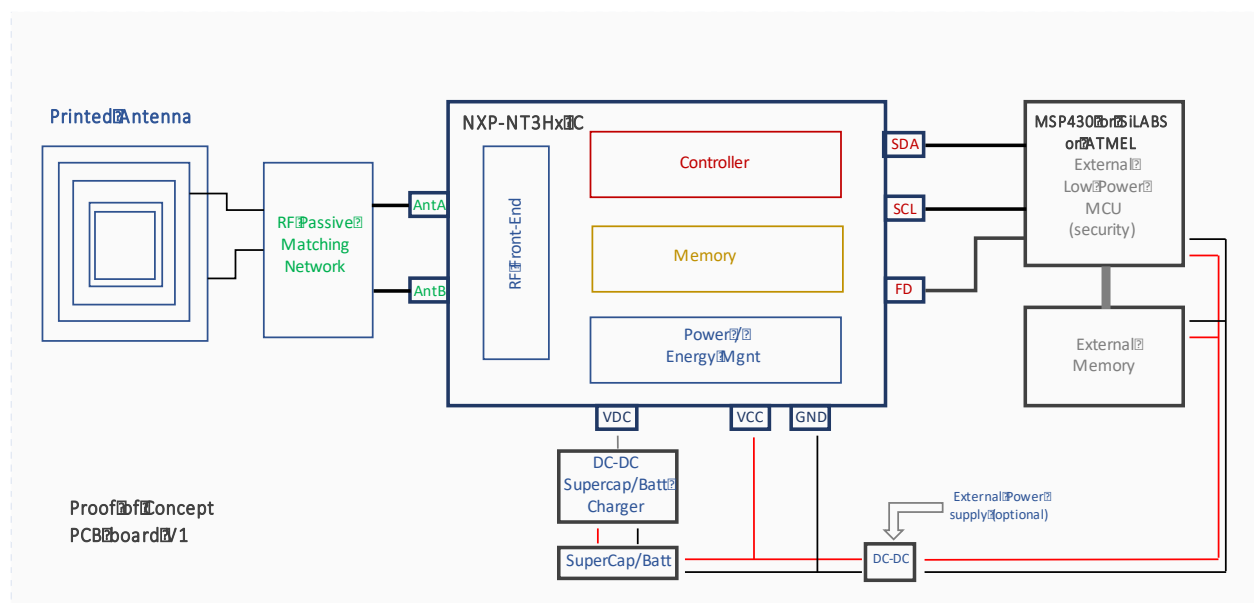


Figura 4.1-Diagrama de blocos da etiqueta RFID NFC com MCU externo e captação de energia.

Em concreto, o modelo de arquitetura proposto para o protótipo da etiqueta RFID-NFC encontra-se representado na Figura 4.1. Neste é possível observar a ligação a um microcontrolador externo e captação de energia do campo eletromagnético estabelecido entre o leitor e a etiqueta. Com o

propósito de desenvolvimento de solução própria foram, todavia, testadas algumas placas de demonstração disponibilizados pelos fabricantes existentes neste domínio.

## 4.1 Testes com Soluções Existentes

### 4.1.1 Módulo de demonstração NTAG I2C

O módulo escolhido para a etiqueta é do fabricante NXP Semiconductors e pertence a um kit chamado NTAG I2C Explorer Kit que serve, de uma forma simples, para alimentar uma etiqueta e um microcontrolador através de NFC vindo de um *smartphone*. Entre a etiqueta e o *smartphone* é utilizado o NFC e entre o microcontrolador e a etiqueta é utilizado o protocolo I2C, que foi falado em mais pormenor na secção 3.4.1.

Este kit tem duas versões como é possível ver na Figura 4.2, e vem também com uma antena flexível ligada à etiqueta NT3H1201 referida na secção anterior.

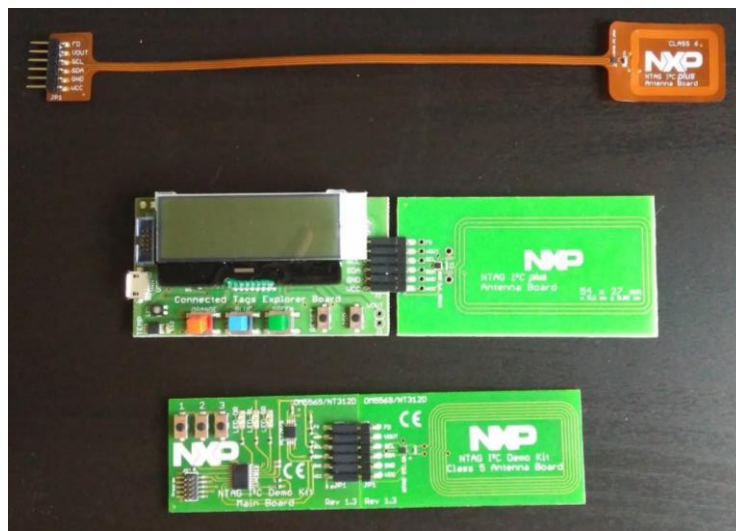


Figura 4.2 - NTAG I2C Explorer Kit

O kit pode ser separado em componente etiqueta e componente microcontrolador como se mostra na Figura 4.3.



Figura 4.3 - Imagem da componente da antena e chip da etiqueta NTAG I2C Explorer Kit.

Vamos primeiro falar da componente etiqueta, que contém uma antena e o *chip* pertencente à etiqueta NT3H1201. O *chip* tem *pins* exteriores para fazer várias ligações como o GND para ligar à massa, o Vout para alimentar outros dispositivos externos e o FD que, dependendo da interface RF, pode ativar dispositivos externos. Os outros três *pins* estão relacionados com a comunicação I2C, que é o Vcc que faz a alimentação do *bus* I2C e o próprio *bus*, a qual fazem parte a SDA e SCL.

Na componente que contem o microcontrolador as versões são diferentes, mas fazem o mesmo tipo de comunicação mudando apenas as características físicas no módulo. Existe um sensor de temperatura, botões e LEDs que, conjugados com a componente da antena e com uma aplicação para telemóvel criada para este kit, prova a existência da comunicação através do campo RF, entre a etiqueta e o *smartphone* e a comunicação I2C, entre a etiqueta e o microcontrolador. Estas comunicações estão especificadas na Figura 4.4, [25].

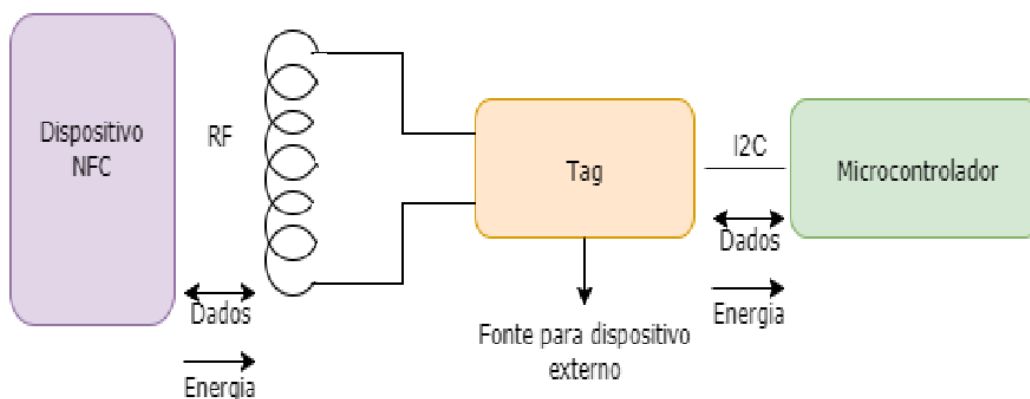


Figura 4.4 - Esquema das comunicações entre o *smartphone* e o kit.

A aplicação criada pela NXP Semiconductors para a placa NTAG I2C é a NTAG I2C Demo e tem como objetivo provar o funcionamento da comunicação I2C entre a etiqueta e o microcontrolador e da comunicação da etiqueta e do *smartphone* utilizando o NFC. Quando a aplicação é iniciada tem como *default* a tab Demo e aqui é possível ver, como se encontra na Figura 4.5, se a placa está conectada ou não ao *smartphone* e, caso esteja, se algo está a ser transferido.

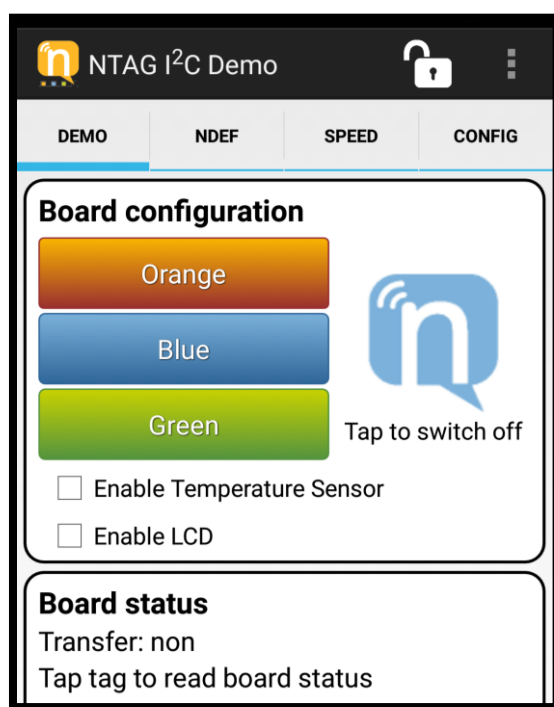


Figura 4.5 – Etiqueta demo da aplicação NTAG I2C Demo.

Esta é uma aplicação bastante interativa pois os LEDs, como é possível ver na Figura 4.6 mudam de cor consoante a cor escolhida na aplicação e é também possível mudar a cor de uma das letras NXP consoante o botão que se seleciona na placa. Caso a opção para permitir retirar

informação do sensor de temperatura e a opção de fazer um display no LCD estejam selecionadas é possível ver a informação disposta no visor.



Figura 4.6 - Exemplo de ligação de LEDs.

Existe também a etiqueta NDEF, onde é permitido ler e escrever no formato NDEF como está na Figura 4.7. É possível escrever uma mensagem personalizada ou uma mensagem *default* em formato Text que depois é convertida para NDEF. Existem outros formatos que podem ser utilizados para escrever mensagens como o Bluetooth e o URI.

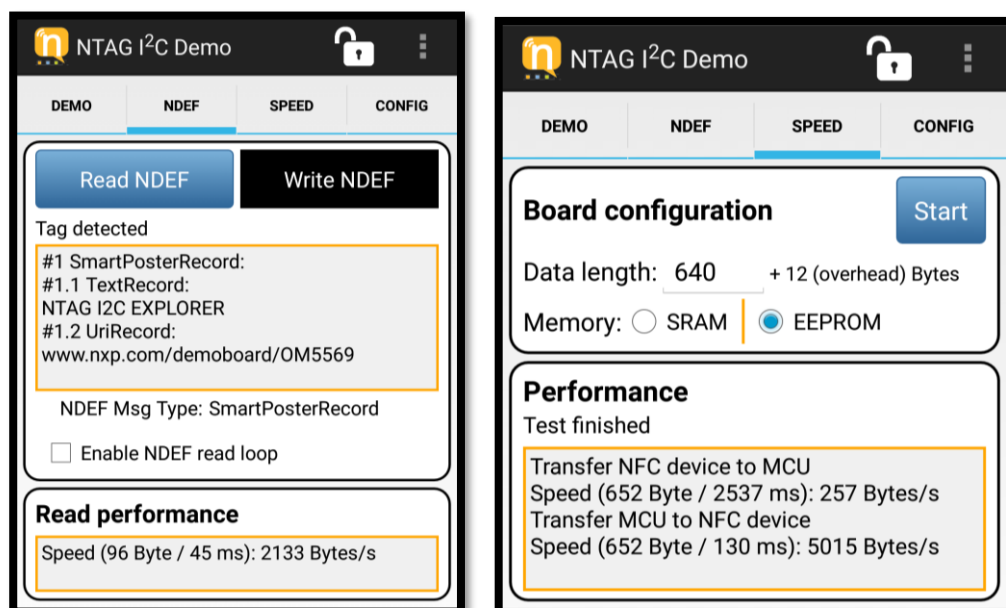


Figura 4.7 – Etiqueta NDEF da aplicação NTAG I2C Demo.

Na tab Speed é feita uma medição da taxa de transferência de bit entre a memória SRAM ou EEPROM da etiqueta e a aplicação, para avaliar a performance de acesso às etiquetas e o tipo de informação recolhida.

Por último existe a tab Config que está na Figura 4.8, onde é possível fazer um reset à etiqueta e ler o conteúdo da memória (Figura 4.9) ou até configurar e ler os registos de sessão (Figura 4.10).

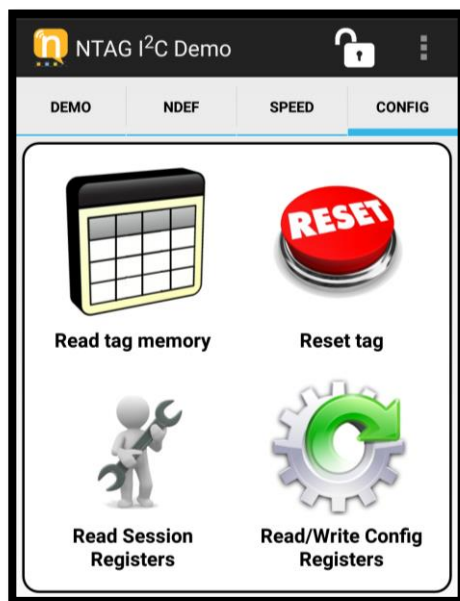
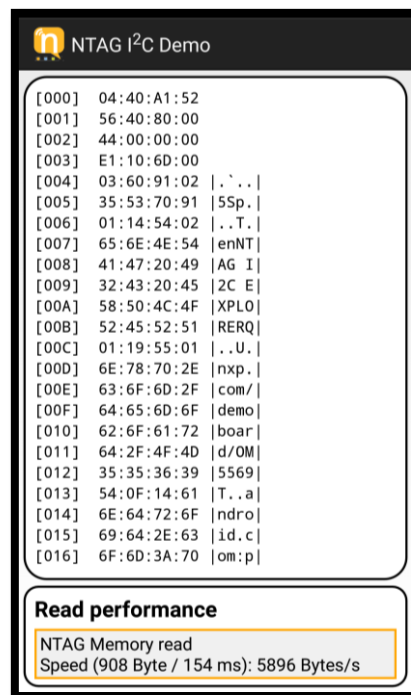


Figura 4.8 - Tab Config da aplicação NTAG I2C Demo



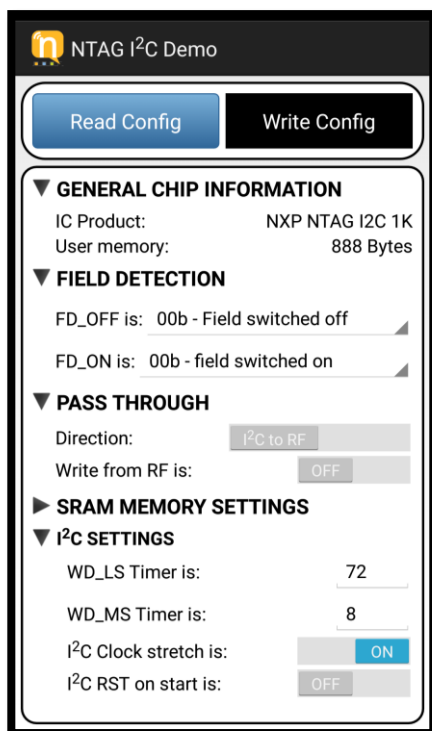


a.

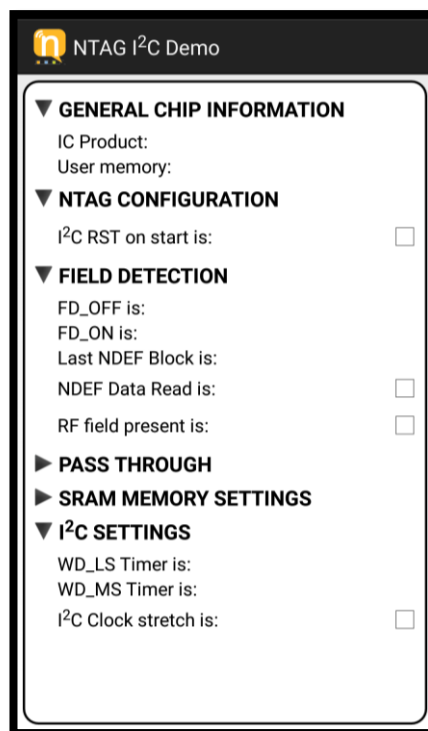


b.

Figura 4.9 – Opções: a. Reset Tag b. Ler a memória



a.



b.

Figura 4.10 - Opções Config: a. Configurar registos de sessão b. Ler registos de sessão.

A NXP Semiconductors possui também duas outras aplicações móveis próprias para leitura e escrita de qualquer etiqueta por NFC que podem ser utilizadas e são, respetivamente a TagInfo e a TagWriter.

#### 4.1.2 Kit Sleepy Bee

O Kit Sleepy Bee pertence ao fabricante Silicon Labs e é uma placa com um microcontrolador da família EFM8SB1. Como referido no capítulo anterior, esta é uma família de microcontroladores que funcionam com tensões baixas e essa é uma das características da placa, que está na Figura 4.11.

Esta placa possui um ecrã para visualizar dados, um sensor de humidade e temperatura, LEDs, botões e joystick e um capacitivo touch pad. É possível conectar-se com a placa de múltiplas formas, tais como, por USB onde é utilizado o protocolo UART, por cabos *jumper* através do *expansion header*, dos conetores de *debug* ou até através dos *breakout pads* (pins para soldar).

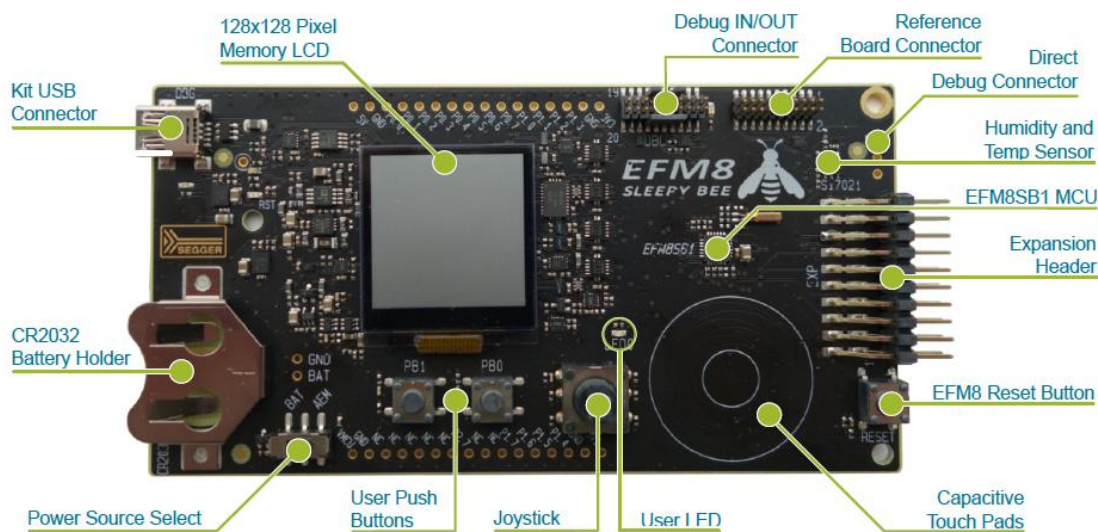


Figura 4.11 - Board Sleepy Bee, [26].

Na Figura 4.12, encontra-se o diagrama de blocos da placa e é possível observar os diferentes protocolos de comunicação utilizados internamente como por exemplo, a comunicação feita com o sensor de temperatura e humidade é realizada com I2C e a comunicação feita com o ecrã é através de SPI.

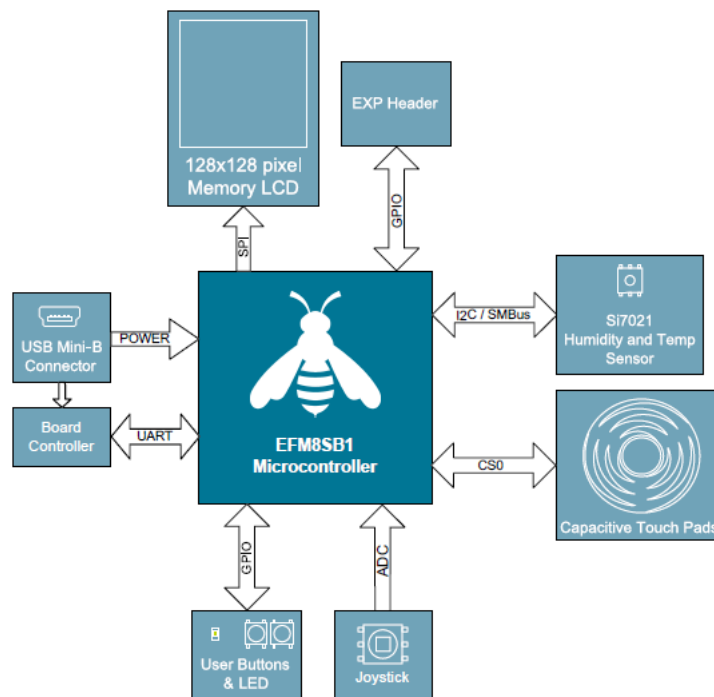


Figura 4.12 - Diagrama de blocos da board Sleepy Bee, [26].

Outra característica desta placa é a sua alimentação, pois pode ser feita de três formas, como está na Figura 4.13.

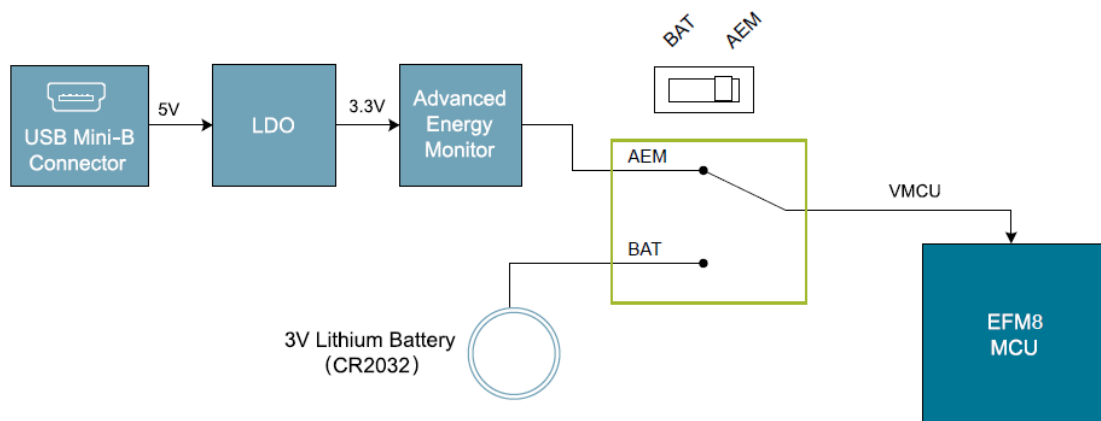


Figura 4.13 - Alimentação da placa, [26].

A placa possui um *switch* que tem de ser alterado para o valor desejado consoante a forma de alimentação pretendida. A forma mais simples e com mais valor de *input* é a ligação ao com-

putador através de um cabo USB e para isso o *switch* deve estar na posição AEM. Caso a alimentação pretendida seja através de uma pilha ou um dispositivo externo, então o *switch* deve estar na posição BAT. Caso seja uma pilha, existe uma *slot* no hardware própria para o tipo de pilha e caso seja através de um dispositivo externo a ligação deve ser feita utilizando o *expansion header*, mais concretamente o pin GND e o VMCU. [26]

Em relação ao programa utilizado pela Silicon Labs para a Sleepy Bee é o IDE Simplicity Studio que é um ambiente de desenvolvimento baseado no Eclipse. Este é o ambiente utilizado para as placas deste fabricante e também contém projetos de exemplo previamente feitos para experiência e/ou ajuda a iniciantes. Inclui várias ferramentas de configuração e gestão de hardware (*pins*), visualização gráfica do perfil energético de cada projeto entre outras, [27].

### 4.1.3 LPCXpresso 845 MAX

À semelhança da placa anterior, esta placa contém um microcontrolador, mas desta vez da NXP Semiconductors e da sua família *low power*, a LPC8xx e encontra-se na Figura 4.14.

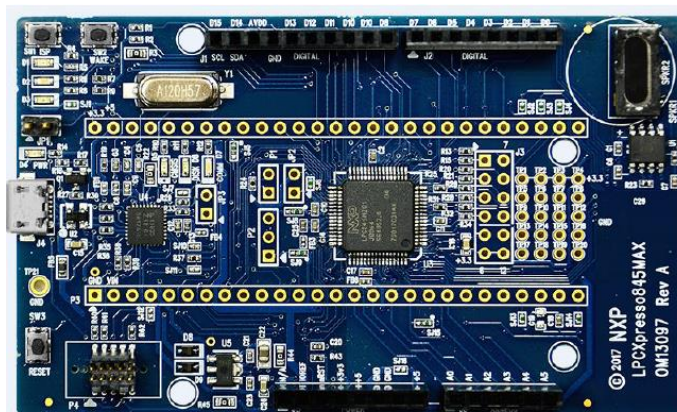


Figura 4.14 - LCPXpresso 845 Max Board, [28].

Ao contrário da anterior, esta placa não contém integrados nenhum tipo de sensores ou botões para exploração, mas possui múltiplas formas de conexão, tais como, o USB, os *breakout pads* e os conectores compatíveis com o *arduino*, [28].

O software usado para programar a LPCXpresso 845 é o MCUXpresso e é também baseado no Eclipse. Existiam outros IDEs como o LPCXpresso, que servia para o desenvolvimento de placas da família LPC e o Kinetics Design Studio, que servia para o desenvolvimento de placas da família Kinetics que foram descontinuados, sendo agora o MCUXpresso o IDE para qualquer

placa deste fabricante. Neste ambiente encontram-se projetos exemplo já desenvolvidos e específicos para as placas onde é possível modificar o código original e é possível fazer *debug* de qualquer programa. O *debug* pode ser feito neste ambiente ou nouro ambiente desde que suportado pelo MCUXpresso como o SEGGER J-Link ou Native LinkServer, [29].

## 4.2 Arquitetura para Protótipo e Resultados experimentais

### 4.2.1 Diagrama do Sistema

A Figura 4.15, apresenta o diagrama global do sistema. Uma configuração multi-etiqueta em que várias antenas partilham o mesmo controlador, o qual é igualmente utilizado para envio da informação para uma plataforma online criada na Cloud computacional. As diversas tecnologias utilizadas estão referenciadas na própria figura.

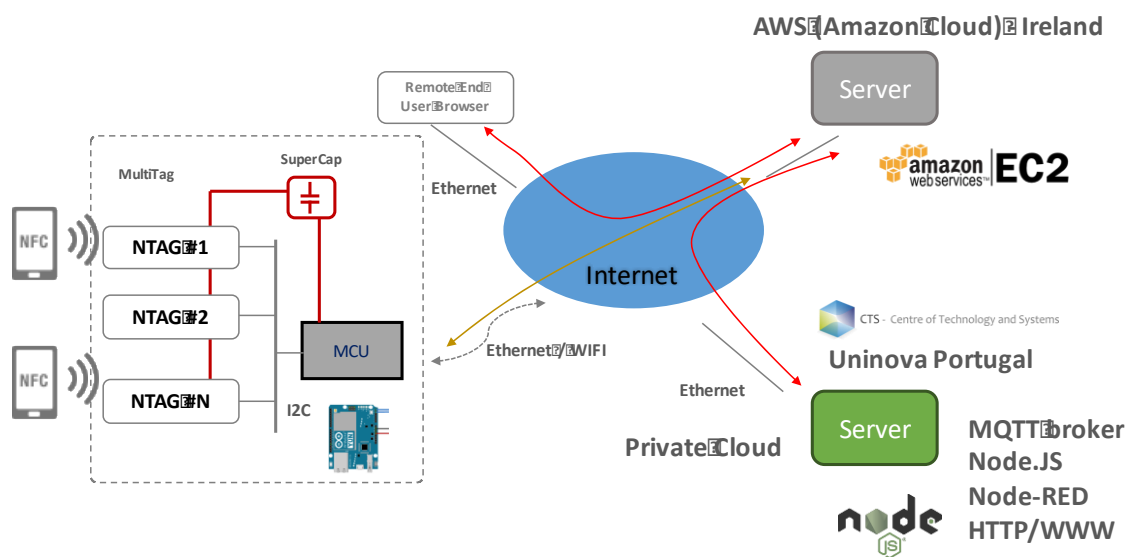


Figura 4.15- Diagrama global do sistema

Para cumprir o objetivo desta dissertação foi construído um protótipo baseado no esquema da Figura 4.16. O protocolo utilizado para efetuar a comunicação é o I2C, e como referido anteriormente, este protocolo permite uma arquitetura *multi-master* e *multi-slave*. Permitir este tipo de arquitetura significa que vários dispositivos (etiquetas, microcontrolador, etc) podem estar conectados às linhas SDA e SCL, como está na Figura 4.16, mas no caso desta dissertação o protótipo será desenvolvido apenas com uma etiqueta (*Slave*) e um microcontrolador (*Master*).

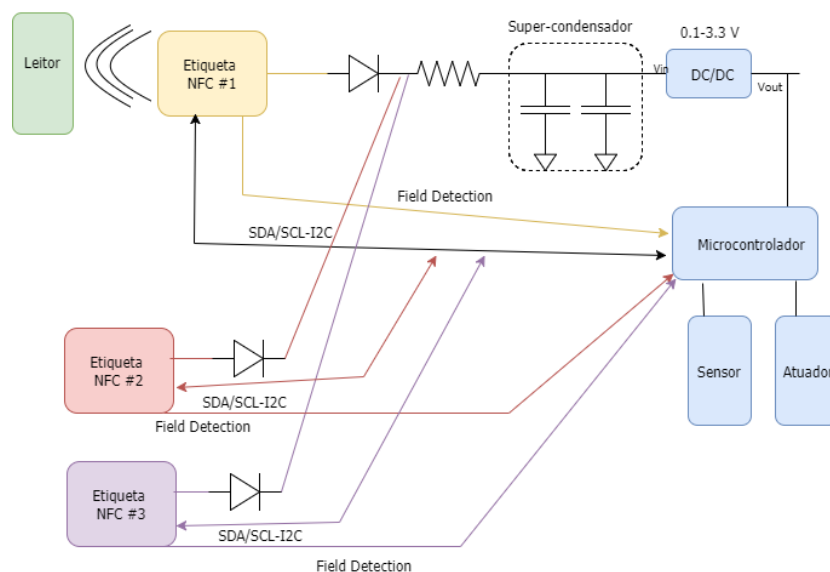


Figura 4.16- Diagrama de blocos do protótipo

#### 4.2.2 Transmissão de energia sem fios

O objetivo principal desta dissertação é alimentar dispositivos através de uma etiqueta alimentada por NFC de um *smartphone* enquanto é feita uma troca de dados entre a própria etiqueta e um microcontrolador. Para cumprir a parte da alimentação foi montado um circuito onde a etiqueta carrega um super-condensador.

No circuito foi utilizado um diodo para impedir que, quando o super-condensador deixasse de ser alimentado pela etiqueta, transmitisse na sua direção energia podendo assim queimar o *chip*, e foi utilizado um diodo *schottky*, pois possui uma tensão de condução menor em comparação com um diodo normal. O super-condensador utilizado é de 0.47 F de capacidade e pode chegar até aos 5 V de tensão máxima. Para medir o carregamento do super-condensador foi usado um multímetro como está na Figura 4.17, que guarda os dados obtidos numa memória externa e que permite exportar esses dados de forma a ser possível visualizar os resultados num PC.

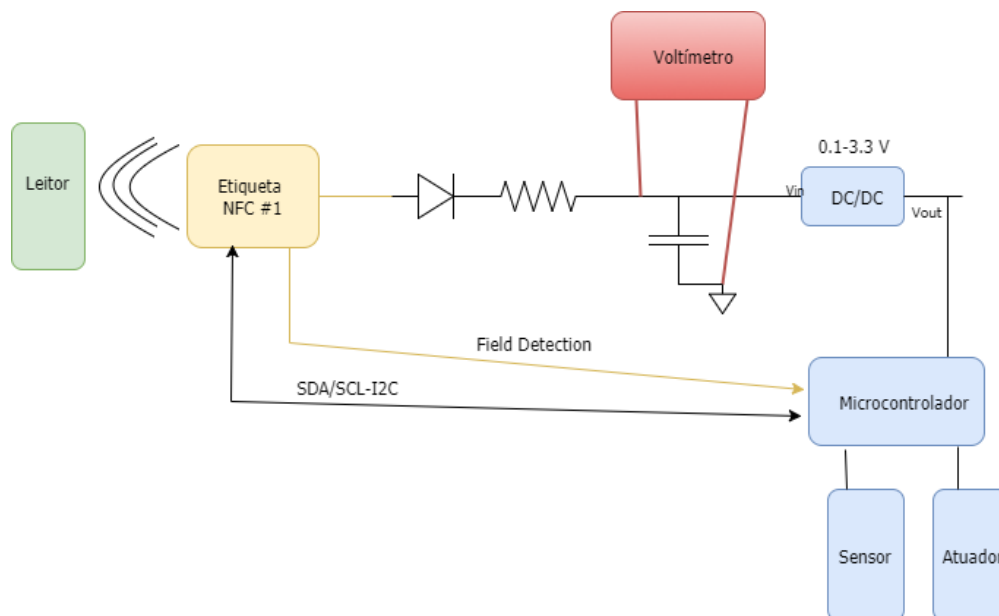


Figura 4.17- Diagrama de blocos da medição

Na Figura 4.18 está o comportamento de carregamento do super-condensador que, apesar de uma pequena falha ligação entre a etiqueta e o *smartphone* que resultou num descarregamento momentâneo de energia, se apresenta como seria de esperar. Esta operação demorou entre cinco a dez minutos e serviu para provar que a transmissão de energia é possível.

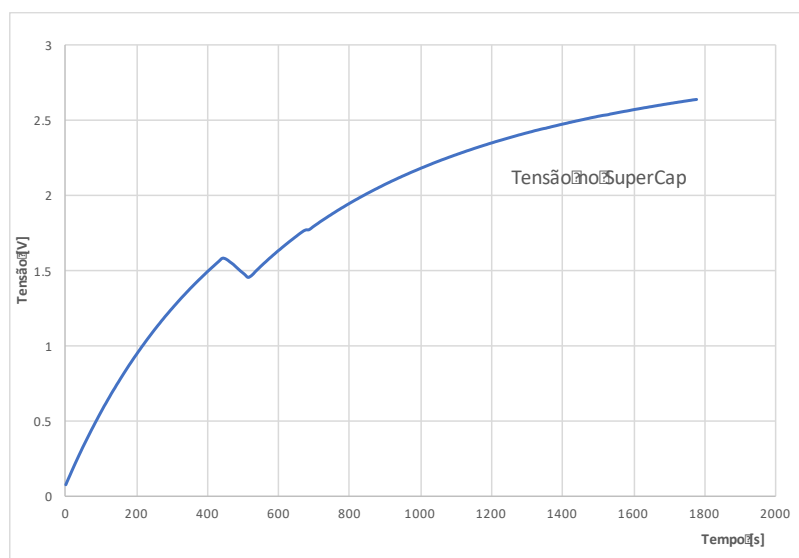


Figura 4.18 - Carregamento do super-condensador

Como tarefa extra, foi proposto também demonstrar que com a carga presente no super-condensador, continua a ser possível alimentar o microcontrolador e manter a comunicação entre este e a etiqueta sem interrupções. Como é visível na Figura 4.18, a tensão do super-condensador encontra-se nos 2.5 V o que não é suficiente para alimentar uma placa que possui uma tensão

mínima de 3.3 V e por isso é utilizado um conversor DC-DC que converte tensões mínimas de 0.1 V até tensões máximas de 3.3 V. Ao fazer este aumento, já é possível fazer a alimentação da placa, que neste caso é um *arduino* mini pro, que possui uma tensão de alimentação de 3.3 V, e é visível na Figura 4.19, o rápido descarregamento do super-condensador, cerca de 1 minuto, depois de deixar de ser alimentado através da etiqueta.

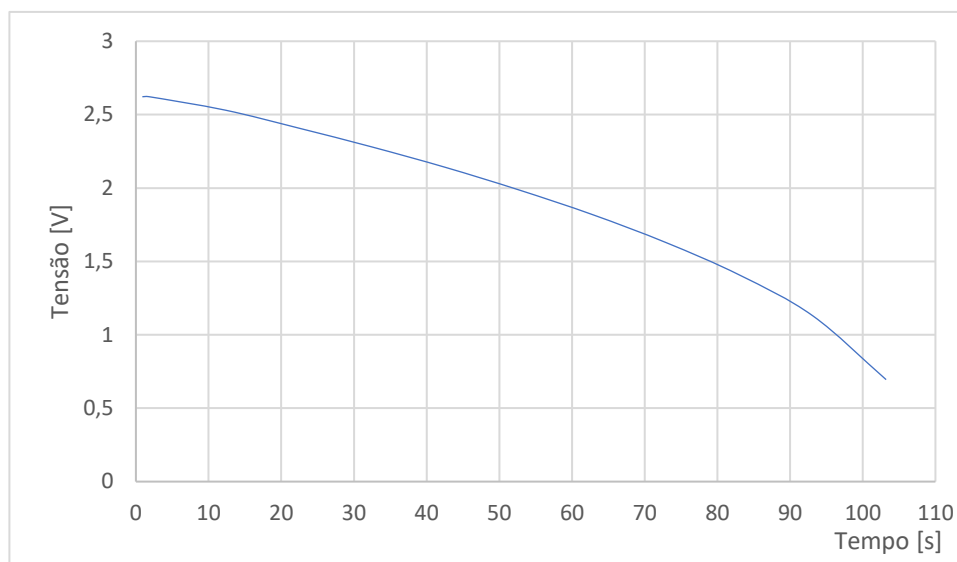


Figura 4.19 - Descarregamento do super-condensador.

Com o sucesso desta etapa do objetivo final, foi perceptível que a tecnologia NFC tem mais utilidades sem ser apenas a identificação com o RFID. Sendo uma tecnologia comum em vários dispositivos como leitores e *smartphones* tem potencial para ser fortemente utilizada, como foi durante esta dissertação, para transmissão de dados entre diversos aparelhos. Estes dados são recolhidos recorrendo ao uso de sensores ou outros componentes, que podem ser alimentados através de NFC, sendo por isso simultânea a transmissão de dados e a alimentação dos componentes e/ou aparelhos usados na própria transmissão.

### 4.2.3 Teste do sistema com ligação à Cloud

Na Figura 4.15 está representado o esquema de comunicação entre o protótipo e a Cloud. Esta comunicação é feita através de um protocolo de troca de mensagens bastante utilizado no ambiente IoT, chamado MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).

Este protocolo necessita de um *broker*, do lado do servidor, que faz a gestão e organização de tópicos. Estes tópicos são listas onde a informação é guardada, usando um comando *publish*,



e onde pode ser lida mais tarde, usando um comando *subscribe*, por qualquer dispositivo que se conecte ao *broker*.

Em anexo é possível visualizar o código desenvolvido para o protocolo I2C e para o MQTT, e um exemplo do acesso à informação recolhida pela comunicação etiqueta-Cloud.

#### 4.2.4 Análise de Resultados

Como já mencionado nas secções anteriores, o objetivo da dissertação é conseguir usar apenas a ligação em NFC da etiqueta com um *smartphone* para carregar um PMU e permitir uma troca de dados entre a etiqueta e um MCU.

Em relação à alimentação e carregamento do PMU, o resultado foi o esperado. O PMU depois de carregado, fica com pouca energia, devido à baixa tensão de entrada, mas com a ajuda de um conversor DC/DC consegue tensão suficiente para alimentar o MCU durante alguns instantes.

Sobre a comunicação entre a etiqueta e o MCU, o processo foi mais complexo e foram experimentadas várias boards onde não foi possível fazer a comunicação I2C.

Para esta comunicação ser possível é necessário programar o microcontrolador para ser o dispositivo *master* e enviar/receber as mensagens consoante o *chip* incluído na etiqueta, pois este não pode ser acedido. A primeira placa a ser utilizada foi a Sleepy Bee da Silicon Labs devido aos sensores já incluídos na mesma, à sua baixa tensão de alimentação e à sua opção de monitorização de energia. A comunicação entre a etiqueta e placa não foi possível de se realizar porque os protocolos de I2C dos dispositivos não eram coerentes um com o outro e devido à falta de informação não foi possível torna-los coincidentes. A segunda placa utilizada foi a LCXpresso 845 Max da NXP Semiconductors. Esta foi escolhida por pertencer à família *low power* da NXP e por pertencer ao mesmo fabricante da etiqueta tendo-se pensado que assim os problemas de incompatibilidade de comunicação entre os dispositivos pudessem ser inexistentes. Infelizmente os problemas de comunicação vistos na primeira placa foram os mesmos nesta segunda que, pelas mesmas razões, não foram resolvidos durante o desenvolvimento desta dissertação. Como forma alternativa foi usada uma placa *arduino* mini pro que, como as placas anteriores, possui um microcontrolador *low power* neste caso um Atmel de 8bits. A escolha de usar um *arduino* foi principalmente devido à quantidade de informação e bibliotecas disponíveis pela própria empresa e pela comunidade, sendo algumas específicas para placas e/ou tipos de comunicação.

Devido ao uso do *arduino* e das suas bibliotecas foi possível fazer a comunicação e perceber que os problemas de incompatibilidade anteriores, se deviam à particularidade de se ter de

apontar para um lugar na memória e escrever nesse lugar o endereço na memória onde se queria fazer a escrita de informação. Infelizmente por falta de tempo não foi possível resolver esse problema com as *boards* anteriores.

## 5 Conclusões e Trabalho Futuro

Esta dissertação tem como objetivo final provar que uma etiqueta alimentada através do NFC de um *smartphone* consegue carregar um super-condensador e alimentar um microcontrolador enquanto existe troca de dados entre eles através de I2C.

Referente à alimentação dos vários dispositivos, foi provado através da montagem de um circuito, que é possível fazer o carregamento de um super-condensador e a alimentação do microcontrolador. Foi também provado que, depois de retirada a etiqueta, o super-condensador consegue durante um período limitado de tempo, fornecer tensão suficiente para manter o microcontrolador a funcionar. Deste ponto de vista, o objetivo foi cumprido com o sucesso desejado.

Sobre a troca de dados através do protocolo I2C, apesar dos problemas encontrados nas duas *boards*, foi possível fazer a comunicação inicialmente pretendida. Para além desta troca de dados, foi feita uma ligação à Cloud de forma, a que os dados, possam ser acedidos em qualquer lado.

Esta dissertação pode servir de começo para a criação de vários dispositivos que utilizem RFID-NFC, mas num contexto mais específico para o IoT. As *boards* que foram descritas, principalmente a da Silicon Labs, são bastantes interessantes para conjugar num projeto ou até, desenvolver uma *board* específica para o contexto IoT.



## Referências

- [1] P. Rfid, “Understanding RFID ( Radio Frequency Identification ),” no. November, pp. 1–19, 2012.
- [2] C. M. Roberts, “Radio frequency identification (RFID),” *Comput. Secur.*, vol. 25, no. 1, pp. 18–26, 2006.
- [3] J. Landt, “The history of RFID,” *IEEE Potentials*, vol. 24, no. 4, pp. 8–11, 2005.
- [4] M. Kaur, M. Sandhu, N. Mohan, and P. S. Sandhu, “RFID Technology Principles, Advantages, Limitations & Its Applications,” *Int. J. Comput. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1793–8163, 2011.
- [5] V. D. Hunt, A. Puglia, and M. Puglia, *RFID-A Guide to Radio Frequency Identification*, pp.5-24, 2006.
- [6] X. Zhu, S. K. Mukhopadhyay, and H. Kurata, “A review of RFID technology and its managerial applications in different industries,” *J. Eng. Technol. Manag. - JET-M*, vol. 29, no. 1, pp. 152–167, 2012.
- [7] M. S. Banu, P. Sasikala, V. Kavitha, G. Yazhini, L. Rajamani, and A. Dhanapal, “RESEARCH ARTICLE RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION ( RFID ): STATE OF THE ART AND ITS APPLICATIONS IN FOOD PROCESSING,” vol. 3, pp. 57–61, 2011.
- [8] A. Lahtela, M. Hassinen, and V. Jylhä, “RFID and NFC in healthcare: Safety of hospitals medication care,” *Proc. 2nd Int. Conf. Pervasive Comput. Technol. Healthc. 2008, PervasiveHealth*, pp. 241–244, 2008.
- [9] D. Fortin-Simard, J.-S. Bilodeau, K. Bouchard, S. Gaboury, B. Bouchard, and A. Bouzouane, “Exploiting Passive RFID Technology for Activity Recognition in Smart Homes,” *IEEE Intell. Syst.*, no. august, pp. 1–1, 2015.
- [10] S. Daniel Dias Pereira, D. António Luís Campos da Silva Topa Vogal, and M. Emília Morais da Fonseca Silva da Costa Manso, “Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas em Ambientes Urbanos,” 2014.
- [11] M. J. Martins and I. V. Neves, *Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas*. Lidel, 2015.
- [12] P. Dhande, “Antennas and its Applications,” no. March, pp. 66–78, 2009.

- [13] “Omni Antenna vs. Directional Antenna - Cisco.” [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html>. [Accessed: 07-Sep-2017].
- [14] “Antenna Classification - MATLAB & Simulink.” [Online]. Available: [https://www.mathworks.com/help/antenna/gs/antenna-classification.html?requestedDomain=www.mathworks.com#bup\\_6jp-1](https://www.mathworks.com/help/antenna/gs/antenna-classification.html?requestedDomain=www.mathworks.com#bup_6jp-1). [Accessed: 07-Sep-2017].
- [15] S. Gao, W.A. Imbriale, L.Boccia, “Space Antenna Handbook”, Jonh Wiley Sons, Ltd, pp. 1-35, 2012.
- [16] N. X. P. Semiconductors, “NT3H1101/NT3H1201 NTAG I2C - Energy harvesting NFC Forum Type 2 Tag with field detection pin and I2C interface,” no. July, 2015.
- [17] TexasInstruments, “RF430CL330H Dynamic NFC Interface Transponder Read or Write Completion,” 2014.
- [18] N. X. P. Semiconductors, “LPC84x LPC84x,” no. June, pp. 1–95, 2017.
- [19] C. Management, E. Management, S. Interfaces, and A. Interfaces, “EFM8 Busy Bee Family EFM8BB1 Data Sheet.”
- [20] B. P. Corcoran, “Two Wires and 30 Years,” no. July, pp. 30–36, 2013.
- [21] L. M. Kappaganthu and D. P. M, “I 2 C Protocol and its Clock Stretching Verification using System Verilog and UVM,” no. Iccict, pp. 478–480, 2017.
- [22] N. Anand, G. Joseph, S. S. Oommen, and R. Dhanabal, “Design and Implementation of a High Speed Serial Peripheral Interface.”, 2014.
- [23] F. Semiconductor, “MPC5121e Serial Peripheral Interface ( SPI ),” 2009.
- [24] NXP, “NTAG Antenna Design Guide,” no. April, pp. 1–47, 2016.
- [25] N. F. Communication, “NTAG I 2 C Explorer Kit user ’ s manual.”, 2014.
- [26] K. E. Y. Features, “Sleepy Bee Family UG239 : EFM8SB1-SLSTK2010A User Guide,” pp. 0–22.
- [27] “Simplicity Studio | Silicon Labs.” [Online]. Available: <https://www.silabs.com/products/development-tools/software/simplicity-studio>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- [28] N. X. P. Semiconductors, “LPCXpresso845MAX User Manual,” no. June, pp. 1–14, 2017.
- [29] N. X. P. Semiconductors, “MCUXpresso IDE User Guide,” 2017.

# Anexos

## Anexo A

```
// MIEEC MsC Thesis / Ana Pereira
// NFC TAG detection using I2C

#include <Wire.h>

void setup()
{
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  //Serial.println("\nI2C Scanner");
}

void loop()
{
  byte error, address;
  int nDevices;

  //Serial.println("Scanning...");

  nDevices = 0;
  for(address = 1; address < 127; address++ )
  {
    // The i2c_scanner uses the return value of
    // the Write.endTransmission to see if
    // a device did acknowledge to the address.
    Wire.beginTransmission(address);
    error = Wire.endTransmission();

    if (error == 0)
    {
      Serial.print("NFC_TAG(I2C) detected at address 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
      Serial.print(address,HEX);
      Serial.println(" !");
      //Serial.print(address,BIN);
      nDevices++;
    }
    else if (error==4)
    {
```

```

    Serial.print("Unknown error at address 0x");
    if (address<16)
        Serial.print("0");
    Serial.println(address,HEX);
    }
}
O restante código implementa to do fluxo da aplicação multiTAG
///
}

```

## Anexo B

```

// MIEEC MsC Thesis / Ana Pereira
// NFC TAG to Cloud connection using MQTT
// Version 1
import mqtt.*;
import processing.serial.*;

MQTTClient client;

Serial myPort;    // The serial port
int xPos = 1;     // horizontal position of the graph
float inByte = 0;  // incoming data

void setup () {
    // set the window size:
    size(400, 300);
    // List all the available serial ports
    println(Serial.list());

    // Change accordingly Serial.list()[?]
    myPort = new Serial(this, Serial.list()[2], 9600);

    myPort.bufferUntil('\n');
    // set background:
    background(100);
    // set initial MQTT connect and topic select
    client = new MQTTClient(this);
    client.connect("mqtt://demo:demo@broker.hivemq.com", "processing");
    client.subscribe("casiot");
} // setup
//(...)
//--- for the serial event ---
void serialEvent (Serial myPort) {
    // get the ASCII string:
    String inString = myPort.readStringUntil('\n');

    if (inString != null) {
        // trim off any whitespace:
        inString = trim(inString);
        // convert to an int and map to the screen height:
        inByte = float(inString);
        println(inByte);
        inByte = map(inByte, 0, 100, 0, height);
        println(inString);
        // MQTT publish
        if (inByte >= 10) {
            // client.publish("TAG_NFC", str(inByte));
        }
    }
}

```



```

client.publish("TAG_NFC", inString);
delay(100);
}
}

```

## Anexo C

The screenshot shows the MQTT Websocket Client interface in a web browser. The browser tab is titled "MQTT Websocket Client" and the address bar shows "data.faraday.disruptive-project.com". The interface is divided into several sections:

- Connection:** Shows a green dot and the text "connected".
- Publish:** A section for publishing messages.
- Messages:** A list of received messages. Each message entry includes a timestamp, the topic, and the QoS level. The messages are:
  - 2017-11-30 11:02:56 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:52 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:46 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:41 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:36 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:31 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:26 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:21 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:18 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: MIEEC: Detectada TAG com endereço 0x33 !
  - 2017-11-30 11:02:16 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: NFC\_TAG(I2C detected at address 0x55 !
  - 2017-11-30 11:02:16 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: MIEEC: Detectada TAG com endereço 0x33 !
  - 2017-11-30 11:02:11 Topic: TAG\_NFC Qos: 0: (partially visible)
- Subscriptions:** A section for managing subscriptions. It includes a button "Add New Topic Subscription" and a list of current subscriptions. One subscription is shown: "TAG\_NFC" with QoS: 2.